

La investigación científica en la Universidad  
Nacional de Santiago del Estero  
y sus aportes a la sociedad

*Mónica Martínez, María Lidia Juliá, Ana María  
del Pilar Domínguez, Marcia Rizo Patrón, Marta  
Gulotta, Miguel Sarmiento, María José Benac y  
Ana Estela Ledesma (Compiladores)*



**UNSE**

Universidad Nacional  
de Santiago del Estero





**La investigación científica en la  
Universidad Nacional de Santiago del Estero  
y sus aportes a la sociedad**

*Mónica Martínez, María Lidia Juliá, Ana María  
del Pilar Domínguez, Marcia Rizo Patrón, Marta  
Gulotta, Miguel Sarmiento, María José Benac y  
Ana Estela Ledesma (Compiladores)*

**Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
(CICyT) - Universidad Nacional de Santiago del Estero**

**Rector**

Ing. Héctor Rubén Paz

**Vicerrectora**

Lic. Marcela Hilda Juárez

**Subsecretaria de Comunicaciones**

Lic. María Gabriela Moyano

**Coordinador Editorial**

Dr. Lucas Cosci

## **Facultad de Agronomía y Agroindustrias**

Decana: Dra. Myriam Villarreal

Vicedecana: Dra. Judith Ochoa

## **Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías**

Decano: Ing. Pedro Juvenal Basualdo

Vicedecano: Dra. Fernanda Mellano

## **Facultad de Ciencias Forestales**

Decano: Dr. Juan Carlos Medina

Vicedecana: Dra. Nancy Giannuzzo

## **Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud**

Decano: Lic. Hugo Marcelino Ledesma

Vicedecano: Lic. Sandra Moreira

## **Facultad de Ciencias Médicas**

Decano Normalizador: Dr. Eduardo Lian Allub

## Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas

Susana Isabel Herrera (Presidente)

Miguel Ángel Sarmiento (Presidente Alternativo - FCF)

Patricia Hernández (FCF)

María José Benac (FCEyT)

Elsa Marcela Terribile (FCEyT)

Marta Elena Gutiérrez (FHCSyS)

Luis Ángel Moyano (FHCSyS)

Marcia Beatriz Rizo Patrón (FAyA)

Sandra Luz Martínez (FAyA)

Melchor Emilio Luque (FCM)

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
(CICyT) - Universidad Nacional de Santiago del Estero

La investigación científica en la  
Universidad Nacional de Santiago del Estero  
y sus aportes a la sociedad

*Mónica Martínez, María Lidia Juliá, Ana María  
del Pilar Domínguez, Marcia Rizo Patrón, Marta  
Gulotta, Miguel Sarmiento, María José Benac y  
Ana Estela Ledesma (Compiladores)*



**UNSE**

Universidad Nacional  
de Santiago del Estero

---

---

Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas  
-CICyT

La investigación científica en la universidad y sus aportes  
a la sociedad : Consejo de Investigaciones Científicas y  
Tecnológicas-CICyT. Universidad Nacional de Santiago  
del Estero. - 1a ed - Santiago del Estero : EDUNSE, 2021.  
Libro digital, PDF - (Ciencia y técnica)

Archivo Digital: descarga  
ISBN 978-987-4456-27-4

1. Ciencias Sociales y Humanidades. 2. Cien-  
cias Naturales. 3. Ciencias Tecnológicas. I. Título  
CDD 378

---

---

**Corrección:** María Cecilia Elías

**Diseño editorial y maquetación:** María Eugenia Alonso

**Diseño de tapa:** María Eugenia Alonso

**Edición:** Lucas Cosci

**Editor Asociado:** Santiago Isorni

© **EDUNSE**, 2021

Av. Belgrano (s) 1912 - G4200ABT

Santiago del Estero, Argentina

email: [infoedunse@gmail.com](mailto:infoedunse@gmail.com)

[www.edunse.unse.edu.ar](http://www.edunse.unse.edu.ar)

Las opiniones expresadas en los libros publicados por EDUNSE no necesariamente reflejan los puntos de vista de la Subsecretaría de Comunicaciones ni del Comité Académico u otras autoridades de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

Cualquier tipo de reproducción total o parcial de este libro, no autorizada por los editores, viola derechos reservados.

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

## ÍNDICE

<b>PRÓLOGO</b>	<b>17</b>
Beatriz López de Mishima; José Togo	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>21</b>
<b>I. ÁREA TEMÁTICA: CIENCIAS BÁSICAS</b>	<b>26</b>
<b>ACEITES ESENCIALES ROL COMO INSECTICIDAS Y ANTI-MICROBIANOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA</b>	<b>28</b>
Sergio Rodríguez; Andrea C. Cutró; Axel Hollmann;	
<b>PÉPTIDOS ANTIBACTERIANOS. APLICACIONES EN SALUD Y ALIMENTOS</b>	<b>59</b>
Axel Hollmann; Patricia Maturana; Juan C. Espeche ; Romina Varas; Anike Ferreyra Maillard; Andrea C. Cutro; Sergio Rodriguez	
<b>ROL DE LOS FACTORES DE CRECIMIENTO GDF9, BMP15 Y FGF2 EN LA FOLICULOGÉNESIS Y SU IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN BOVINA</b>	<b>107</b>
Gustavo Adolfo Palma; Pablo Sebastián Reineri; María Sumampa Coria; Santiago Callejas	
<b>VOLTAMETRÍA COMPUTACIONAL DE SUPERFICIES MODIFICADAS</b>	<b>132</b>
Oscar A. Pinto; Pedro Marcelo Pasinetti; Maximiliano Gavilán Arriazu; Rodrigo Giménez	
<b>CONTENIDO DE OLIGOELEMENTOS EN VEGETALES DE HOJAS VERDES Y ZANAHORIA</b>	<b>157</b>
Ana E. Ledesma; Jorge N. Leguizamón Carate; Carlos A. Wottitz; Fanny C. Álvarez Escalada; Antonella M. Bucci	

**EMPLEO DE DOCKING MOLECULAR PARA EL ESTUDIO DE ENZIMAS BACTERIANAS Y OTRAS MOLÉCULAS DE INTERÉS BIOLÓGICO 186**

Ana Ledesma; Fanny Álvarez Escalada; Abraham Sesin; Jorge Gómez; Juan Carol Paz; Ana Bustos

**PROPIEDADES ESTABILIZANTES Y EMULSIFICANTES DE HIDROCOLOIDES OBTENIDOS DE RECURSOS NATURALES AUTÓCTONOS Y SUBUTILIZADOS DEL NOROESTE ARGENTINO 211**

Laura Iturriaga; Matías Alancay; Anabel Ayunta; Claudia Quinzio

**CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL DE SISTEMAS LIPÍDICOS BIOMIMÉTICOS 250**

Aníbal Disalvo; María A. Frías; Antonio Sebastián; Hugo A. Pérez<sup>1</sup>; Jimena del Pilar Cejas; Noelia A. Soria<sup>1</sup>; Lina G. Mohtar

**II. ÁREA TEMÁTICA: CULTURA Y EDUCACIÓN 307**

**PRIMERAS APROXIMACIONES HISTÓRICAS SOBRE LA CÁRCEL Y SOCIEDAD EN SANTIAGO DEL ESTERO 308**

Silvia Beatriz Rodríguez; Claudia Suárez; Cristina Cuevas; Gabriel Alejandro López Pepa; Santiago Comán; Ramiro Santillán; Verónica Díaz

**LAS COMPETENCIAS EN EL PROCESO DE FORMACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DEL PROFESORADO EN MATEMÁTICA DE LA FCEYT USANDO GEOGEBRA 334**

Nori Esther Cheeín de Auat; María Mercedes Simonetti; Yris Bettiana Rafael; Gabriela Lorena Robles; Lidia Cristina de Pablo; Viviana del Carmen Ledda; Alejandra Beatriz Lima

**ENSEÑAR CIENCIAS, DESARROLLAR COMPETENCIAS 361**

José Galiano; Andrea Acosta; Paola Bustamante; Evangelina González; Gonzalo Martínez; Gabriela Maguna; Gabriel Gutiérrez

**III. ÁREA TEMÁTICA: DESARROLLO HUMANO, ECONÓMICO, SOCIAL Y DE POLÍTICAS PÚBLICAS 411**

**MEMORIAS E IDENTIDADES EN UN CONTEXTO DE CONFLICTO TERRITORIAL 412**

Carlos Bonetti

**DESARROLLO ECONÓMICO. CRECIMIENTO, CAMBIO ESTRUCTURAL Y DESIGUALDAD EN REGIONES SUBCAPITALI-**



**ZADAS DE LA PERIFERIA. EL CASO DE SANTIAGO DEL ESTERO** 434

María Noelia Gurmendi; Jorge Luis Silveti

**MERCADO DE TRABAJO, INFORMALIDAD Y DESIGUALDADES DE GÉNERO EN SANTIAGO DEL ESTERO** 472

Lucas Torres; Jorgelina Cajal; Yanina Saad Giuliano; Eliana Sayago Peralta; Florencia Suarez

**IMPLEMENTACIÓN DE INICIATIVAS DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIA EN SANTIAGO DEL ESTERO. UN ESTUDIO A PARTIR DEL CASO PRODUNOA S.A.** 518

Mónica Martínez; Nelva Coria ; Víctor Fernández ; Ana Rosa Rodríguez; Carlos Soza

**HACIA UNA COMPRENSIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS DESIGUALDADES Y LA PRODUCCIÓN DE LAS DIFERENCIAS EN SANTIAGO DEL ESTERO. PRINCIPIOS DE CLASIFICACIÓN, REPRODUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES Y FORMAS DE RESISTENCIA EN CAPITALISMOS PERIFÉRICOS** 544

Ana Teresa Martínez ; José Vicente Vezzosi; Raúl Esteban Ithuralde; Pablo Concha Merlo; Belén Villavicencio

**RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA, AGENCIA MORAL Y CRITERIOS: UNA MIRADA DESDE LAS PERCEPCIONES DE DOCENTES Y ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE HUMANIDADES, CIENCIAS SOCIALES Y DE LA SALUD DE LA UNSE ACERCA DE SU ACCIONAR EN TANTO "INTEGRIDAD", "SOCIABILIDAD Y SOLIDARIDAD" Y "BIEN COMÚN Y EQUIDAD"** 588

Hugo Marcelino Ledesma ; Matías Castro de Achával; Francisco José Muratore

**RELEVAMIENTO DE LAS ORGANIZACIONES DE LA ECONOMÍA SOCIAL, POPULAR Y SOLIDARIA EN LAS PROVINCIAS DE SALTA Y JUJUY** 613

Edgardo J. F. Argibay; Ofelia Montenegro de Siquot; Luis A. Moyano; Carlos Alberto Siquot Montenegro; Laura Gómez; Eduardo Salinas; Aillen Maman

**ENFERMERÍA EN TIEMPOS DE COVID-19 EN SANTIAGO DEL ESTERO: UN RELATO BASADO EN EXPERIENCIAS, DURANTE EL PERIODO 2020** 642

Mariano Chávez; María Cáceres; Karina Sayago; Edel Sosa; Rosa Sotomayor

IV. ÁREA TEMÁTICA: GESTIÓN DE LA NATURALEZA Y EL AMBIENTE 663

COMPORTAMIENTO DE PLÁNTULAS DE MEDICAGO SATIVA CV. SALINERA INTA, GERMINADAS BAJO CONDICIONES DE SALINIDAD 664

Alejandra Catan; Claudia Degano; Diego De La Vega; Alicia Fraño; María Targa Villalba

AVANCES EN ESTUDIOS ECONÓMICOS DEL ALGARROBO EN SANTIAGO DEL ESTERO .....687

Gabriela Cardona; Jorge García; Sebastián Kees; Víctor Pérez; Rocío Sánchez Ugalde; Miguel Sarmiento

RELACIÓN ENTRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN 714

Carlos A. Wottitz; Fanny C. Álvarez Escalada; Antonio E. Ramírez; Rodrigo A. Ruiz López;

LA UNIVERSIDAD VA AL CAMPO 750

Florencia Frau; Florencia Salinas; Nelson Leguizamón Carate; Nora Pece

FLORA LEÑOSA DE BOSQUES SERRANOS EN SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA 778

Manuel O. Palacio; Enrique Roger; Sergio O. Vecchioli

RELACIÓN ENTRE INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA Y TEMPERATURAS DEL CASO DE DOS SECTORES DE LA CIUDAD CAPITAL DE SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA 820

María Florencia Speciale; Hugo Raúl Zerda

LA VEGETACIÓN CHAQUEÑA Y SU RELACIÓN CON DISTURBIOS, DESDE UNA PERSPECTIVA FUNCIONAL. RESPUESTAS DE BOSQUES CHAQUEÑOS A DISTURBIOS 856

Sandra Bravo; Nelly Abdala; Ana Santacruz; Dante Loto; Valeria Ibáñez-Moro<sup>1</sup>; Florencia del Corro<sup>1</sup>; Fernando Ojeda

EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES MEJORADAS GENÉTICAMENTE CON FINES DENDROENERGÉTICOS 882

Marta Rosalía Gulotta; Amelia Nancy Giannuzzo; María Elena Carranza ; Rocío Carreras; Felipe Cisneros ; Fany Patricia Coronel; Myriam Ethel Ludueña

GESTIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS FORESTALES Y OTRAS ÁREAS NATURALES. CASOS APLICADOS EN SANTIAGO DEL ESTERO 917

Miguel Sarmiento; Gabriela Cardona; Carlos Bruno; María Soledad Pintos; Cecilia Zurita Bianchini; Matías Carignano; Walter Cassino; Luiz Ribas; Samuel Rivera; Jorge García

**PROPUESTAS DE USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS BOSCOSOS DE LA REGIÓN CHAQUEÑA SECA 961**

Juana Graciela Moglia; José Díaz Zirpolo; Ana Belén Cisneros; Vanina Chifarelli; Damián González; Myriam Ethel Ludueña; Federico Calatayú

**V. ÁREA TEMÁTICA: TECNOLOGÍAS APLICADAS 1005**

**INVESTIGACIÓN DE MERCADO DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA.EL CASO DE SANTIAGO DEL ESTERO 1006**

Rolando Schimpf; Myriam Ludueña; Rocio Sánchez Ugalde

**FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA DE ESPECIES FORESTALES BAJO LA ACCIÓN DEL GLIFOSATO 1046**

Diego Ariel Meloni; María Cruz Silva; Diolina Moura Silva

**PROPIEDADES REOLÓGICAS, TEXTURALES Y SENSORIALES DE GALLETAS DULCES LIBRES DE GLUTEN A BASE DE HARINA DE ARROZ, HABAS, MISTOL Y CHAÑAR 1065**

Myriam Elizabeth Villarreal; Karina Eliana Costa Macías; Natalia Emilce Lescano; Fernanda Quiroga; Pablo Ribotta; Norma Cristina Samman

**ILUMINACIÓN EFICIENTE Y SOSTENIBLE 1097**

Silvina Luján Rigali; María I. Castro Saavedra; Rubén Corbalán; Franco Fernández; Edgar Oscar Palma; María Victoria Saracco; José Luis Torres

**LA COMPUTACIÓN UBICUA EN EL DESARROLLO DE APLICACIONES EDUCATIVAS 1137**

Elena Beatriz Durán; Margarita María Álvarez; Beatriz Fernández Reuter; Silvina Isabel Únzaga

**DETERMINACIÓN DE VARIABLES TÉRMICAS DE HEAT PIPE TUBULARES, UTILIZADOS EN COLECTORES SOLARES PARA CALENTAR AIRE 1185**

Carlos Alberto Cattaneo; Anibal Oscar Gómez Khairallah; Pablo Sebastián Togo

**TECNOLOGÍAS COMBINADAS PARA LA CONSERVACIÓN DE VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS 1204**

Silvia del Carmen Rodríguez; Mariana Judith Farías; Diego Ricardo Gutiérrez; María Laura Lemos

**EVALUACIÓN DEL "GEOIDE-AR16",**

**MEDIANTE MODELOS DE ONDULACIÓN GEOIDAL. ÁREA DE RIEGO DEL RÍO DULCE, SANTIAGO DEL ESTERO 1235**

José Goldar; Leonel Ayunta; Gonzalo Gerez; Carlos Gutiérrez; José Paste; Roberto Pirola; Daniel Sandez

**PROPUESTA TECNOLÓGICA, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA ORIENTADA AL TRABAJO COLABORATIVO Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN ÁMBITOS EDUCATIVOS PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS SOCIALES Y CULTURALES 1284**

Mabel Sosa; Ricardo Cordero, Leda Digión, Saritha Figueroa, Ivana Maldonado, Carmen Silva, Isabel Velázquez

**CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES DE TUBÉRCULOS ANDINOS. APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE ALIMENTOS 1324**

Laura Beatriz Iturriaga; Ana Yanina Bustos; Gonzalo Cruz Ortiz; Lourdes Torres Quinteros; Pablo Daniel Ribotta; Cristina Ferrero

**TECNOLOGÍA Y VALOR AGREGADO DE MADERAS, SUS DERIVADOS Y SUBPRODUCTOS DEL SECTOR FORESTOAGRÍCOLA 1349**

Estela Margarita Pan; Juan Carlos Medina; Maximiliano Umlandt; Vanesa Jiménez; Feliza Benitez; Agustín Ruiz;

**APLICACIONES GEOMÁTICAS DE LOS MODELOS GRAVITACIONALES TERRESTRES (EGM) Y LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM) GLOBALES. 1386**

Lucrecia Galván; Claudia Infante; Javier Duro; Santiago Amalfi; Jorge Orieta; Melina Llanos

**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE MADERA PARA USOS SÓLIDOS EN ESPECIES CON APTITUD MADERERA DE LA REGIÓN CHAQUEÑA SECA 1429**

Juana Graciela Moglia; Ana Belén Cisneros; Damián González; Vanina Chifarelli; José Díaz Zirpolo; Adrián Bender; Miryam Ethel Luedueña

**DESARROLLOS INFORMÁTICOS PARA GRUPOS DE APRENDIZAJE EN CONTEXTOS DE COLABORACIÓN ON-LINE 1466**

Rosanna Costaguta; María de los Ángeles Menini; Daniela Missio; Germán Lescano; Pablo Santana-Mansilla

**PLATAFORMAS DE CATÁLISIS Y DETECCIÓN ELECTROQUÍMICA BASADAS EN PASTA DE GRAFITO Y NANOPARTÍCULAS METÁLICAS 1507**

Verónica I. Paz Zanini; Virginia M. Araujo; Florencia A. Gulotta; Fátima Villalba Varas



## PRÓLOGO

BEATRIZ LÓPEZ DE MISHIMA  
JOSÉ TOGO

La Universidad Nacional de Santiago del Estero, a través de la presente publicación, presenta los resultados de las investigaciones que se realizan en su ámbito. Esta exigencia se encuentra incorporada en el Estatuto de la Universidad Nacional de Santiago del Estero al expresar, en su artículo 4 inciso 2, que corresponde a la universidad: "Impartir la enseñanza superior con carácter científico para la formación de investigadores, profesionales y técnicos con amplia formación cultural, capaces y conscientes de su responsabilidad de contribuir a reducir las desigualdades sociales [...]". Asimismo, en el artículo 109º dice:

En la Universidad Nacional de Santiago del Estero, funcionará, dependiente del Rectorado, el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas, destinado a impulsar la investigación pura y aplicada, procurando las mayores facilidades a su alcance para su realización y estimulando los trabajos de investigación que realicen los miembros de su personal docente, graduados, estudiantes y terceros.

Por lo tanto, la institución tiene como uno de sus objetivos la de realizar investigación.

Esta actividad desempeña un papel destacado en la articulación con la enseñanza y permite mejorarla contribuyendo a la formación y actualización docente. Además, posibilita el perfeccionamiento profesional y la formación de investigadores. Los docentes transmiten experiencias y conocimiento para que los estudiantes traten de resolver los problemas. La base de esta experiencia proviene de la investigación, es decir hacer ciencia y transmitirla.

Para impartir una docencia actualizada y de calidad también, la investigación debe tener por objetivo alcanzar el mayor nivel académico y, como la universidad forma recursos humanos para el ámbito académico y profesional a través de las carreras de grado y posgrado, debe fortalecer cada disciplina y también facilitar y proyectar las articulaciones entre ellas. Es necesario generar la interdisciplinariedad de manera que la producción del conocimiento no sea fragmentada.

Siempre es necesario recordar que la UNSE es una universidad pública y como tal tiene una responsabilidad con la sociedad que la sostiene para resolver sus demandas. Por lo tanto, la divulgación de las actividades de investigación es necesaria ya que debe responder a esa sociedad y demostrar a través de los hechos la intervención sobre esas demandas.

La Universidad en sus inicios ha tenido profunda dificultad para establecer políticas de ciencia y técnica, ya que nace sin presupuesto y sin personal capacitado para el área: con el transcurso de los años comienza a modificarse con la incorporación de fondos específicos para dicha finalidad. Se crean Institutos, se incorporan equipamientos y personal, se consolida el CICYT-UNSE y, posteriormente, la Secretaría de Ciencia y Técnica, con la que surgen los primeros lineamientos de políticas en ciencia y tecnología.

La publicación no fue ajena a esta política; comienza a pu-



blicarse la Revista de Ciencia y Tecnología en sus dos versiones, Científicas y de Divulgación de todos los artículos con referatos de pares externos. Estas publicaciones dejan de editarse al ocurrir cambios internos; surge así la Editorial Universitaria, de contenido y alcance diferentes a la revista anterior.

La convocatoria de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE es dar a conocer en esta publicación los resultados de los estudios o el inicio de la investigación, lo cual ha generado numerosos artículos originales que están orientados a aspectos teóricos, metodológicos, de reflexión o de recopilación de datos sobre aspectos puntuales de nuestra realidad provincial y universitaria.

Todas las Universidades tienen como uno de los valores fundamentales la investigación y, en consecuencia, dar a conocer los resultados al mundo científico y especialmente a la comunidad de la cual se nutre. Estamos ante un acontecimiento importante para la UNSE, el cual es la presentación de los trabajos realizados por docentes-investigadores de las distintas facultades, centro de investigación local o de doble dependencia. Esta diversidad se encuentra plasmada a través de los diversos contenidos temáticos. Algunos de ellos tienen ciertas similitudes entre sí y otros se encuentran totalmente alejados; esto nos indica que la Universidad es una sola y a la vez diversa, plural en sus pensamientos y en sus acciones.

De la lectura y análisis de los trabajos presentados, se desprende que los grupos de investigación cubren investigaciones básicas y aplicadas en un amplio espectro disciplinario, y que sus temáticas están estrechamente relacionadas con la problemática regional. Esto demuestra la capacidad y potencialidad que posee la UNSE.

La decisión política de la Secretaría de Ciencia y Técnica de publicar este primer tomo es de suma importancia tanto institucional como para todos los docentes-investigadores. Este espacio permite difundir las actividades que realizan los

docentes para así poder vincularse con otras instituciones nacionales o internacionales.

Impulsar la interdisciplinariedad, el crecimiento de los grupos de investigación y la formación de los recursos humanos depende de las futuras gestiones a nivel de políticas de investigación y de recursos para su financiamiento. La UNSE ha aprobado el Plan estratégico institucional para el periodo 2019-2029 (PEI), en el cual la investigación tiene objetivos y líneas de acción totalmente definidas. Este primer tomo solamente contiene una parte de las investigaciones que se realizan en la UNSE y no la totalidad de ella. Los resultados de los proyectos en ejecución o recientemente comenzados serán publicados en futuras entregas.

## INTRODUCCIÓN

El Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, en concordancia con el Plan Estratégico Institucional (PEI), destaca como una cuestión clave de la investigación misma el de dar visibilidad a la producción científica, filosófica y tecnológica realizada en la Institución. En este sentido, define como una actividad cardinal en el ámbito de la comunicación pública de la ciencia, la producción y presentación de un Libro electrónico.

Una de las líneas de acción del PEI es incentivar la comunicación de los resultados alcanzados en los Programas y Proyectos de investigación. Esto significa, puntualmente, asumir el compromiso institucional de brindar espacios y productos a los docentes-investigadores para la puesta en circulación, por medios editoriales adecuados, de sus producciones, como así también la contribución a la educación y a la democratización del acceso al conocimiento.

El libro es de acceso abierto, en soporte digital, y compila textos de docentes-investigadores que participan en progra-

mas y proyectos financiados por CICYT UNSE interesados en comunicar sus prácticas científicas, desarrollos tecnológicos y reflexiones filosóficas. El objetivo último de todo investigador y de la institución donde está radicado es el de dar a conocer públicamente sus resultados.

El público destinatario del libro es un lector virtual heterogéneo, es decir, las contribuciones académico-investigativas publicadas no solo deben poder ser comprendidas por los pares expertos y eruditos de los autores sino también por otros actores del espacio social. La comunicación pública de la ciencia da otros sentidos a la publicidad del saber académico, como lo es hacer visible la ciencia más allá de su propio ámbito institucional de producción y abrir el juego a la interacción e intercambio con otros campos y sujetos colectivos.

El libro está organizado en áreas temáticas y capítulos. Estos muestran los hallazgos, evidencias y diferentes actividades puestas de manifiesto por los diversos grupos de trabajo, pertenecientes a programas y proyectos aprobados y financiados por CICYT, dentro de las distintas unidades académicas de la UNSE, por lo tanto, las variedades temáticas responderán a la formación disciplinar de los docentes-investigadores de dichas unidades.

Desde una perspectiva multidisciplinar, el volumen se encuentra organizado en torno a cinco áreas temáticas: Desarrollo Humano, Económico, Social y Políticas Públicas; Cultura y Educación; Gestión de la Naturaleza y del Ambiente; Ciencias Básicas y Tecnología Aplicada.

La compilación de los capítulos en cada una de las Áreas Temáticas estuvo a cargo de los siguientes docentes investigadores: Áreas Cultura y Educación y Desarrollo Humano, Económico, Social y Políticas Públicas: Lic. María Lidia Juliá, Lic. Ana María del Pilar Domínguez y Mg. Lic. Mónica Martínez; Ciencias Básicas: Mg. Ing. Marcia Rizo Patrón e Ing. Ledda Larcher; Área Gestión de la Naturaleza y del Ambiente: Dra. Mar-

ta Gulotta y Dr. Miguel Sarmiento y Área Tecnología Aplicada: Dra. María José Benac y Dra. Ana Estela Ledesma.

Un análisis más detallado de las áreas en las que se presentan los trabajos permite señalar que, por ejemplo, algunos están relacionados con productos que se obtienen de recursos naturales autóctonos de la región NOA y con su aplicación a alimentos: harinas; hidrocoloides a partir del mistol, chañar y de tubérculos andinos, incorporados a los productos comerciales para modificarlos y mejorar sus cualidades en la industria alimentaria, entre otros. Estas investigaciones son fundamentales y aplicadas. En el grupo de alimentos correspondiente a frutas y hortalizas se realizan estudios para su conservación poscosecha, el control de la actividad microbiana, la utilización de nuevos métodos de análisis a partir de los biosensores, etc..

Otras actividades incorporadas en el libro se vienen desarrollando desde hace varios años, pero con significativos cambios en su aplicación. Es interesantes la combinación de trabajos que realizan los químicos, agrónomos e ingenieros en alimentos, a partir de la incorporación en los últimos años de bioquímicos, microbiólogos, biotecnólogos, biofísicos y veterinarios, que han aportado nuevas líneas de investigación, como los estudios en el campo de los agentes antimicrobianos y los péptidos, por ejemplo. Con respecto al campo de la producción animal, se incorporaron grupos que estudian los factores de crecimiento en la producción bovina.

Las investigaciones en el campo de las ciencias básicas se ha potenciado a partir de la incorporación de físicos y biofísicos que contribuyen con los modelos de simulación como Montecarlo, el modelado de membranas lipídicas o de cálculos computacionales para predecir la actividad de moléculas biológicas de interés.

Con respecto a las investigaciones en las temáticas del ambiente, estas surgen a partir de la confluencia de ecólogos, agrónomos, ingenieros forestales, botánicos, fisiólogos

y economistas, especialmente a partir de los estudios sobre los bosques, su protección y su aprovechamiento. Las líneas de trabajo están relacionadas básicamente con: evaluación de la flora de bosques de la serranía, el uso sustentable de los recursos boscosos del parque chaqueño seco y los establecimientos con plantaciones forestales de corta duración con fines dendroenergéticos. También se encuentran estudios sobre la ecología de disturbios en ambientes de bosque chaqueño, focalizado principalmente en las estrategias de regeneración de especies leñosas. Relacionado con el área industrial, se encuentran trabajos que explican los parámetros de calidad de la madera de especies recomendadas para la región chaqueña y de especies sometidas a la sobre explotación y la caracterización tecnológica de maderas latifoliadas de alto potencial comercial. Se presentan, además, estudios económicos de mercado y de rentabilidad financiera.

También se encuentran trabajos relacionados con el ambiente y las tecnologías aplicadas que impactan significativamente, como el herbicida glifosato, sobre plantines forestales en la fotosíntesis y en la germinación; la determinación de variables térmicas en colectores solares y nuevas metodologías con aplicación en geociencia y geodesia. Se presentan, asimismo, estudios en informática orientados a la educación.

En el campo social, desarrollo humano, economía y políticas públicas tenemos un trabajo referido a la historia de las cárceles en Santiago del Estero desde la época colonial hasta la actualidad; otro se refiere a la memoria e identidad a partir de un conflicto territorial en una localidad de Santiago del Estero. También se encuentra un artículo sobre desarrollo económico en el que se aborda la temática del crecimiento, cambios estructurales entre la última década del siglo pasado y la primera del presente siglo. Es interesante el enfoque sobre el rol de la enfermería y su personal en tiempo del COVID-19 en Santiago del Estero. Hay un artículo orientado al mercado de

trabajo, la informalidad y la desigualdad de género en Santiago del Estero y otro sobre la responsabilidad social empresaria a partir de un caso concreto. Por otro lado, hay un artículo que analiza el principio de la clasificación y la reproducción de las desigualdades en Santiago del Estero; otro sobre la búsqueda del conocimiento sobre la responsabilidad universitaria desde la óptica del docente y del estudiante de una Facultad de la UNSE y, finalmente, un trabajo sobre relevamientos de las organizaciones de la economía social, popular y solidaria de las provincias de Salta y Jujuy.

Las tipologías textuales son investigaciones científicas y tecnológicas, es decir, son producciones textuales que describen el desarrollo de un proceso de investigación metódico con el objetivo de producir conocimientos en algún campo de las ciencias. Los trabajos explicitan las problemáticas de investigación abordadas, enuncian los objetivos estipulados, citan antecedentes, teorías y validaciones empíricas que sostuvieron la investigación, las metodologías y los procedimientos analíticos desplegados.

*Los compiladores*

**I. ÁREA TEMÁTICA:  
CIENCIAS BÁSICAS**





# ACEITES ESENCIALES ROL COMO INSECTICIDAS Y ANTIMICROBIANOS EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

SERGIO RODRÍGUEZ<sup>1</sup>; ANDREA C. CUTRÓ<sup>2</sup>; AXEL HOLLMANN<sup>3</sup>;

## Resumen

Los aceites esenciales (AEs) son metabolitos secundarios producidos por diferentes especies de plantas, en las que cumplen funciones tales como defensa, polinización, función antioxidante y de señalización, entre otras. Este hecho les otorga la capacidad de afectar a diversos sistemas biológicos, además de constituir una fuente natural de compuestos bioactivos con potencial en aplicaciones tecnológicas. Los AEs pueden ser obtenidos mediante una diversidad de procedimientos fí-

1 Dr. en Ciencias Química Instituto de Ciencias Químicas, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, UNSE-CONICET.

2 Dra. en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Médicas (UNSE) y Centro de Investigación en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL - UNSE - CONICET). Investigadora Asistente (CONICET).

3 Dr. en Ciencias Básicas y Aplicadas. Laboratorio de Compuestos Bioactivos. Centro de Investigaciónh de Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL-CONICET-UNSE).

sico-químicos a partir de plantas que conforman la flora local de una determinada región. La constitución química de los AEs es una mezcla de moléculas de bajo peso molecular, enriquecida en compuestos terpénicos, cuya composición se ve afectada por factores ambientales, de extracción, genéticos, geográficos y nutricionales; esto hace que exista una gran diversidad de AEs, incluso entre los obtenidos a partir de las mismas especies.

En el presente capítulo se profundizará sobre los diferentes mecanismos de obtención de AEs, así como sobre algunas de sus aplicaciones en la industria agroalimentaria, principalmente en su actividad como insecticida para el control de plagas durante la producción y el almacenamiento de granos. Además, se investigará sobre su capacidad antibacteriana frente a diferentes patógenos presentes en alimentos. En ambos casos, diferentes AEs han mostrado ser eficientes en el control de insectos o de bacterias patógenas, lo que confirma que los AEs son una excelente alternativa ecoamigable a ser tenida en cuenta en la industria alimentaria como sustitutos de los agentes químicos actualmente en uso. Inclusive, en el caso particular de la provincia de Santiago del Estero, el aceite esencial (AE) obtenido de aguaribay (*Schinus molle*) ha mostrado propiedades insecticidas y bactericidas, lo que confirma que el estudio de estos compuestos puede, además de tener relevancia a nivel científico, aportar al desarrollo económico de la región.

Palabras clave: actividad biológica, mecanismo de acción, composición química, *Rhipibruchus picturatus*

## Abstract

Essential oils (EOs) are secondary metabolites produced by different plant species, in which they perform functions such as defense, pollination, antioxidant and signaling functions, among others. This fact gives them the ability to affect various biological systems; in addition to being a natural source of bioactive compounds with potential technology application. EOs can be obtained by a variety of physico-chemical procedures from plants that make up the local flora of a certain region. The EOs chemical composition is a multi-component mixture, enriched in terpenic compounds, which is affected by environmental, extraction, genetic, geographical and nutritional factors, meaning that there is great diversity on the EOs, even if they are obtained from the same species. In this chapter will delve into the different mechanisms for EOs extraction, as well as some of their applications in the agricultural and food industries. Mainly, in their activity as an insecticidal allowing the control of pests during the production and storage of grains. In addition to their antibacterial capacity, against different pathogens present in food. In both cases, different EOs have been shown to be efficient in the control of insects or pathogenic bacteria, confirming that EOs are an excellent eco-friendly alternative to be considered in the food industry as substitutes for the chemical agents currently in use. Even more in the case of Santiago del Estero, the EO obtained from Aguaribay (*Schinus areira*) have shown insecticidal and bactericidal properties, which confirms that the study of these compounds can, in addition to having scientific relevance, contribute to the economic development of the region.

Keywords: biological activity, mechanism, Chemical composition, *Rhipibruchus picturatus*

## 1. Introducción

Los aceites esenciales (AEs) han sido considerados de gran interés, puesto que su extracción y utilización data desde los principios de la humanidad. Se les han otorgado desde usos culinarios como preservante y saborizante, hasta la fabricación de perfumes y cosméticos (Lopez-Romero et al., 2015). Aproximadamente han sido descritos unos tres mil AEs diferentes, de los cuales 300 son usados comercialmente en la industria de las fragancias y de los saborizantes (Burt, 2004). Los AEs son compuestos volátiles que presentan baja solubilidad en agua y frecuentemente se caracterizan por poseer una fuerte fragancia (Bakkali et al., 2008). Dichos aceites son metabolitos secundarios de las plantas aromáticas, en las que cumplen funciones tales como defensa, polinización, función antioxidante y de señalización, entre otras (Gershenzon and Dudareva, 2007). Estos compuestos son almacenados en estructuras especializadas en las células vegetales o en órganos secretorios, tales como glándulas, ductos o cavidades; en algunos casos, el AE no es formado en la planta misma, sino producido por la hidrólisis de algunos compuestos presentes como son el caso de la valeriana o el ajo (Franz and Novak, 2015; Lopez-Romero et al., 2015). Los AEs pueden ser extraídos de diferentes partes de las plantas (hojas, flores, brotes, semillas, frutos, raíces, madera o corteza) mediante la aplicación de una diversidad de métodos tanto mecánicos como fisicoquímicos. Entre los métodos extractivos se incluyen la extracción con disolventes y fluidos supercríticos, vapor a baja o alta presión o la hidrodestilación (Burt, 2004; Lahlou, 2004; Bakkali et al., 2008). El rendimiento y la composición química de los AEs obtenidos dependerá de múltiples factores tales como el procedimiento de extracción, el clima, el estado nutricional de las plantas, la ubicación geográfica y el estrés (Solis-Quispe et al., 2016).

### **1.1 Métodos de extracción de aceites esenciales**

Los métodos de extracción utilizados para la obtención de los AEs pueden ser clasificados en dos categorías: convencionales o clásicos; y métodos avanzados e innovadores. En esta última, la aplicación de nuevas tecnologías ha permitido lograr métodos más eficientes, acompañado de una disminución en los tiempos de extracción, mayor rendimiento energético y mejor calidad del producto obtenido (Wang and Weller, 2006).

### **1.1.1 Técnicas convencionales o clásicas de extracción de aceites esenciales**

La hidrodestilación es el método más simple y antiguo que se utiliza para la extracción de AEs, en el cual se utiliza un dispositivo de extracción donde la materia prima (el material vegetal) se sumerge en agua dentro de un alambique y el conjunto se lleva a ebullición utilizándose como fuente de calor una caldera. El vapor producido durante el proceso de destilación es conducido hacia un condensador y finalmente a un decantador tipo Florentino, permitiéndose de esta manera la recolección del condensado y la separación del aceite esencial del agua (Fig. 1). Otros arreglos de hidrodestiladores ubican el material vegetal en una rejilla sobre el agua en ebullición (Fig. 1).

El principio de extracción por hidrodestilación se basa en la destilación de líquidos inmiscibles. En estas condiciones y a la presión atmosférica, el agua y las moléculas de AE forman una mezcla heterogénea que alcanza su temperatura de ebullición en un punto inferior a 100 ° C, lo que para los componentes del AE este punto es más alto (entre 150° y 300°C). La mezcla AE: agua se destila luego simultáneamente como si fueran un solo compuesto, lo que se denomina co-destilación (Khayreddine, 2018). La ventaja de la utilización de agua es que la mayoría de las moléculas de origen terpénico constituyentes de los AEs son inmiscibles en agua y, por lo tanto, después de la con-

densación pueden separarse fácilmente del solvente mediante una simple decantación. Sin embargo, este método requiere de tiempos prolongados, que puede conllevar a alteraciones químicas como hidrólisis, deprotonaciones, hidrataciones y ciclaciones, y pérdida de moléculas polares por sobrecalentamiento (Bohra et al., 1994). Esto puede producir un AE que difiere significativamente en cuanto a su composición química de la esencia original.

Por otra parte, existen algunas variantes del procedimiento básico de extracción como puede ser el "arrastré por vapor de agua", método ampliamente utilizado para la extracción de AEs (Masango, 2005). Este método se basa en el mismo principio que la hidrodestilación, con la diferencia de que no hay contacto directo entre el material vegetal y el agua, y la duración de la extracción se acorta para reducir las interacciones químicas.

Otras técnicas tradicionales de obtención de AEs incluyen la extracción con disolventes orgánicos, en la cual el material vegetal se macera en un disolvente orgánico y el extracto se concentra eliminando el disolvente a presión reducida. En esta técnica se evitan las alteraciones y la descomposición química por la extracción en frío en comparación con la hidrodestilación. Asimismo, se debe tener en cuenta que los extractos obtenidos por solventes orgánicos contienen residuos de dichos solventes, lo que compromete la seguridad del producto final (Faborode and Favier, 1996). Estas desventajas podrían evitarse mediante el uso de una tecnología combinada de solvente orgánico con bajo punto de ebullición (por ejemplo, n-pentano) y proceso de destilación de vapor (Li et al., 2009).

Asimismo, el prensado en frío es un método mecánico para extraer los AEs a partir de la cáscara de los cítricos, durante el cual los sacos de aceite que se localizan en la parte externa del mesocarpio (sacos de aceite o glándulas de aceite) se rompen y liberan los compuestos volátiles. El AE se obtiene como una emulsión acuosa y puede ser separado de la fase acuosa

mediante centrifugación. Esta metodología es aplicada para la obtención de esencia vegetal de la ralladura de cítricos que se utiliza como ingrediente o como aditivo aromatizante en la industria farmacéutica y alimentaria.

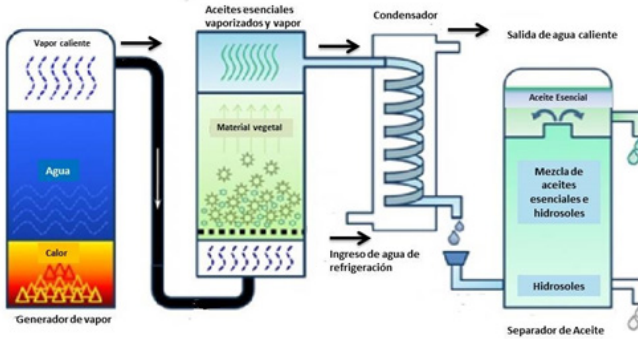


Figura 1. Esquema de un hidrodestilador.

### 1.1.2 Técnicas innovadoras de extracción de aceites esenciales

Las nuevas técnicas de extracción también tienden a reducir los tiempos de extracción, el consumo de energía, el uso de solventes y las emisiones de CO<sub>2</sub>. Podemos mencionar la extracción por fluidos supercríticos (Braga et al., 2005; Carvalho et al., 2005), líquidos de extracción subcrítica (Özel et al., 2006; Soto Ayala and Luque de Castro, 2001) y extracción con CO<sub>2</sub> subcrítico, entre otros (Khayreddine, 2018).

El principio de extracción por fluidos supercríticos (SFE) se basa en el uso y reciclaje de fluidos en pasos repetidos de compresión-descompresión. Al comprimir y enfriar el CO<sub>2</sub>, este alcanza el estado supercrítico y atraviesa la materia prima vegetal arrastrando la materia volátil. Esto es seguido por un paso de descompresión, en el que el extracto se dirige a uno o más separadores, donde el CO<sub>2</sub> se descomprime gradual-



mente (con lo que pierde así su poder disolvente) para separar el extracto obtenido del fluido. Este último podría convertirse en un gas liberado y luego reciclarse (Fornari et al., 2012). En este procedimiento, el CO<sub>2</sub> es sometido a temperaturas entre 31 y 55 °C, y la presión se regula entre 0,5 MPa y 7,4 MPa. En estas condiciones, el CO<sub>2</sub> se comporta como un disolvente no polar. El uso de esta técnica para la extracción de AEs ha aumentado en las últimas décadas. El único obstáculo para su desarrollo es el alto costo de los equipos, sus instalaciones y sus operaciones de mantenimiento (Fornari et al., 2012). De igual manera, ha sido reportado el uso del agua en estado subcrítico para la extracción de AEs (Özel et al., 2006). Se entiende por estado subcrítico el que es alcanzado cuando la presión es más alta que la presión crítica ( $P_c$ ), pero la temperatura es más baja que la temperatura crítica ( $T_c$ ), o viceversa. Este tipo de extracción de AEs (extracción con agua subcrítica o SWE) es una poderosa alternativa porque permite una extracción rápida y el uso de bajas temperaturas de trabajo; además, se evita la pérdida y degradación de compuestos volátiles y termolábiles y, en consecuencia, los extractos presenten una mayor calidad con menos costos de producción (Herrero et al., 2006).

## 1.2 Composición química de aceites esenciales

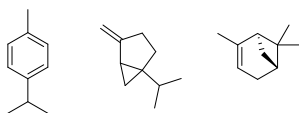
Los AEs no son compuestos simples ni mezclas simples de varios compuestos individuales, sino que son mezclas multicomponentes ya que su composición química puede llegar a estar conformada por hasta 400 o más compuestos diferentes, dependiendo del equipamiento de análisis y detección (De Groot and Schmidt, 2016). Los compuestos que se encuentran en los AEs pertenecen a diversas clases químicas, entre los que son predominantes los terpenos, aunque los fenilpropanoides y otros compuestos que contienen nitrógeno

y azufre como isotiocianatos, tiocianatos y nitrilos también se encuentran, en menor frecuencia y en proporciones más pequeñas (Dhifi et al. 2016).

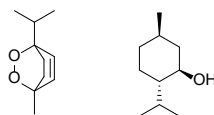
Los compuestos mayoritarios encontrados en los AEs son los terpenos (Fig. 2), también conocidos como isoprenos, o terpenoides o isoprenoides cuando contienen oxígeno con más de 30.000 estructuras conocidas (De Groot and Schmidt, 2016). Los terpenos se clasifican por el número de unidades de isopreno a partir de las cuales se derivaron biogénicamente (Croteau et al., 2000), incluso aunque posteriormente se haya producido una pérdida o adición de átomos de carbono (Chinou, 2005). Por lo tanto, los hemi, mono, sesqui, di, tri y tetraterpenos contienen 1, 2, 3, 4, 6 y 8 unidades de isopreno, respectivamente. Los monoterpenos son los terpenos más comunes en los AEs, seguidos de los sesquiterpenos al igual que sus derivados oxigenados (Dung et al., 2008; Kirimer et al., 2008).

### 1. Terpenos

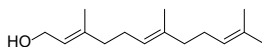
#### Monoterpenos



#### Monoterpenos oxigenados



#### Sesquiterpenos



### 2. Compuestos aromáticos

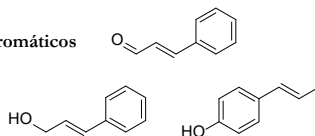


Figura 2. Estructura química de algunos componentes de los AEs.

### 1.3 Caracterización de aceites esenciales

Como se mencionó anteriormente, la mayoría de monoterpenos y sesquiterpenos se encuentran presentes en los AEs de diversas plantas. A partir de dichos aceites es posible realizar su aislamiento mediante la utilización de uno o varios métodos cromatográficos tales como la cromatografía en columna, en capa fina y cromatografía líquida de alta eficacia o HPLC. Para las cromatografías en columna y en capa fina, se utiliza comúnmente la sílica gel como fase estacionaria. Como fase móvil se emplean solventes apolares puros o mezclados. Sin embargo, actualmente se utilizan técnicas de caracterización más eficientes y rápidas como la cromatografía líquida de alta eficiencia HPLC, la cromatografía de gases (CG), así como también combinaciones CG-MS ("*Gas Chromatography*" y "*Mass Spectrometry*") (Barkman, Beaman & Gage 1997; (Franz & Novak, 2015).

La combinación CG-MS se trata de dos técnicas que trabajan en fase gaseosa y necesitan una muy pequeña cantidad de muestra para su análisis, por lo que son muy compatibles. El único obstáculo en cuanto a su acoplamiento es que el efluente que emerge de la columna cromatográfica sale a presión atmosférica y debe introducirse en el interior del espectrómetro de masas que trabaja a alto vacío. Actualmente, el acoplamiento directo resulta fácil cuando se utiliza la cromatografía capilar de gases, que es el caso más habitual. Cada uno de los componentes que sale del sistema se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas. En este proceso, el espectrómetro de masas, además de proporcionar los espectros, actúa como detector cromatográfico al registrar la corriente iónica total generada en la fuente iónica, cuya representación gráfica constituye el cromatograma o "TIC" (total ion current). En efecto, la corriente iónica generada por todos los iones da lugar a un

pico gaussiano de área proporcional a la concentración del compuesto detectado. De esta manera, se permite el análisis de mezclas complejas presentes en Aes y la identificación de los componentes a partir de los tiempos de retención a través de los denominados Índices de Retención de Kovats (KI). Estos valores son característicos para cada componente y existen bases de datos con los índices de muchos componentes de aceites esenciales (Sadgrove and Jones, 2015).

## 2. Aplicaciones: generalidades

Las plantas medicinales aromáticas (MAP, por sus siglas en inglés *medicinal and aromatic plants*), entre otras, constituyen una gran parte de la flora natural y se considera un recurso importante en diversos campos tales como la industria farmacéutica, la cosmética, las fragancias y los sabores. Se han registrado más de nueve mil plantas con propiedades curativas y aproximadamente mil quinientas son conocidas por su aroma y sabor. Los productos a base de AEs que se pueden obtener a partir de este tipo de plantas han adquirido una mayor demanda en las diversas áreas industriales antes mencionadas, dado su potencial comercial basado en sus características organolépticas y actividades biológicas (Swamy et al., 2016).

Debido a la variedad y complejidad de los compuestos presentes en los AEs, no es sorprendente que estos tengan la capacidad de afectar a diversos sistemas biológicos. En el ámbito de la salud y la medicina, la diversidad de propiedades biológicas que ahora se caracterizan incluye actividades antimicrobianas, anticancerígenas, analgésicas, antioxidantes, antiinflamatorias, inmunomoduladoras, antiplaquetarias y antitrombóticas (Ballabeni et al., 2004). Por otra parte, el potencial antimicrobiano e insecticida es de un alto interés en la agricultura, la industria alimentaria y la farmacéutica

(Silva-Santos et al. 2004; Swamy, Akhtar & Sinniah, 2016b; Kocić-Tanackov & Dimić, 2013; Ahmed Salim, 2017).

A continuación se discutirán las aplicaciones de los AEs en la industria alimentaria, con especial énfasis en su actividad insecticida en el control de insectos, que constituyen una plaga en los granos almacenados, y como antibacterianos en la conservación de alimentos.

## **2.1 Aceites esenciales como insecticidas**

La demanda de mejor calidad de vida de las personas está aumentando y, debido a ello, la seguridad alimentaria se ha convertido en una preocupación en muchos países. Los insectos plaga se encuentran comúnmente en las instalaciones en las que se realizan el procesamiento y el almacenamiento de alimentos. El resultado de su actividad tiende a causar contaminación y pérdida de calidad de los alimentos, además de cambios indeseables en el microambiente del almacenamiento. Pueden contribuir directa o indirectamente en diversos grados de infestación de alimentos, que finalmente pone en peligro a la salud humana (Hubert et al., 2018).

Los métodos tradicionales de control de plagas eran el empleo de empaques herméticos, de sulfuro, de desecantes y de toxinas botánicas. Todos estos sistemas fueron sustituidos con insecticidas químicos gracias al desarrollo de nuevas metodologías de síntesis orgánica (Hagstrum and Phillips, 2017). Los insecticidas químicos se consideraron una herramienta efectiva a largo plazo, pero su uso excesivo ha logrado que muchas especies generen resistencia fisiológica o de comportamiento (Boyer et al., 2012). Sumado a esto, se encontraron consecuencias negativas en el medioambiente y en la sociedad (Regnault-Roger et al., 2012). Por todos estos motivos, es necesario hallar alternativas ecoamigables para re-

emplazar el uso de químicos sintéticos (Campolo et al., 2018).

En este contexto, los AEs son una alternativa muy prometedora por su alta eficacia frente a múltiples plagas, mecanismos de acción, baja toxicidad y bajo costo de producción (Pavela and Benelli, 2016).

Muchas de las plantas son ricas en AEs que presentan funciones como insecticidas repelentes o antialimentarios (Jessica Elizabeth et al., 2017). Todas estas características pueden jugar un rol importante en la protección de alimentos almacenados contra los insectos plaga. Un ejemplo de esto es la familia Lauraceae (Tabla 1), a la cual pertenece el laurel doméstico y la canela, que representan un recurso económico de gran magnitud y se ha aplicado en las industrias alimenticias, cosméticas, farmacéutica, etc. (Reis-Avila and Oliveira, 2017). Se ha reportado bioactividad de esta familia frente a las mayores plagas de alimentos almacenados incluyendo gorgojo "castaño" de la harina (*Tribolium castaneum*), gorgojo "confuso" de la harina (*T. confusum*), gorgojo del maíz (*Sitophilus zeamais*) y gorgojo del frijol (*Callosobruchus maculatus*) (Ebadollahi and Jalali Sendi, 2015; Silva et al., 2017). Dentro de Lauraceae, el género Cinnamomun es comercialmente más importante y sus extractos o AEs poseen efectos insecticidas y repelentes (Ribeiro-Santos et al., 2017). Extractos de Cinnamomum cassia con dióxido de carbono supercrítico presentaron toxicidad por contacto y repelencia frente a *T. castaneum* y *Lasioderma serricornis* (Wang et al., 2018).

Recientemente, los AEs de canela (*Cinnamomum burmannii*, *Cinnamomum migao*), laurel chino (*Litsea pungens*), laurel (*Laurus nobilis*) y algunos de sus componentes (Tabla 1) fueron evaluados frente a insectos plaga de productos almacenados *Tribolium castaneum* y piojo de los libros (*Liposcelis bostrychophila*) (Wang et al., 2019). Todos estos aceites resultaron ser ricos en monoterpenos como limoneno, sabineno, linalool, eucaliptol, borneol,  $\alpha$ -terpineol, 4-terpinenol,  $\alpha$ -terpinil

acetato,  $\beta$ -cariofileno, spatulenol y 1,2,3,4-tetrametilbenzeno. Los AEs resultaron tóxicos y repelentes en estos insectos. Por otra parte, los monoterpenoides mencionados anteriormente mostraron diferentes grados de actividad dependiendo de su concentración y naturaleza.

Otras de las familias botánicas con potencial actividad insecticida son: *Anacardiaceae*, *Apiaceae* (*Umbelliferae*), *Ara-  
ceae*, *Asteraceae* (*Compositae*), *Brassicaceae* (*Cruciferae*), *Chemopodiaceae*, *Cupressaceae*, *Lamiaceae* (*Labiatae*), *Pin-  
aceae*, *Liliaceae* and *Zingiberaceae*, *Myrtaceae* y *Schisandra-  
ceae* (Bett et al., 2016; Lee et al., 2004; Pérez et al., 2010; Ra-  
jendran and Sriranjini, 2008; Wang et al., 2011).

Una de las principales plagas de legumbres en países subtropicales es *Callosobruchus maculatus* Fabr. (*Coleoptera: Chrysomelidae: Bruchinae*). Recientemente se evaluó la actividad de los AEs de anís estrellado (*Illicium verum* Hook. F.) y clavo (*Eugenia caryophyllus* Spreng) en adultos de *C. maculatus*, con lo que se demostró repelencia y toxicidad por contacto (Matos et al., 2020). Anteriormente se habían testeado los AEs de anís hisopo (*Agastache foeniculum* (Pursh) Kuntze), eneldo (*Anethum graveolens* L.), comino (*Cuminum cyminum* L.), hinojo (*Foeniculum vulgare* Gaetner) y ajedrea (*Satureja hortensis* L.), con excelente actividad insecticida (Ebadollahi et al., 2012).

Una de las líneas de investigación que llevamos adelante en la UNSE es el estudio de las propiedades de *Schinus areira* L. [sin. *S. molle* L. var. *areira* (L.) DC.] llamado comúnmente como 'aguaribay', falso pimentero o pimentero rosa (Scrivanti et al., 2003). En el territorio argentino se considera una especie naturalizada y se distribuye en el Chaco Serrano, la Prepuna y el Monte, más precisamente en las provincias de Catamarca, Jujuy, La Rioja, Mendoza, Salta, San Juan, San Luis, Tucumán y Santiago del Estero. Es una especie pionera aún en suelos pedregosos y salinos, y es tolerante al frío. Además, es extensamente cultivado en muchas provincias argentinas por su

rusticidad y rápido crecimiento (Muñoz, 1990).

En el marco de esta investigación se extrajeron por hidrodestilación los AEs de ejemplares ubicados en Villa El Zanjón, Santiago del Estero, Argentina. En estos AEs se identificaron veintiocho compuestos orgánicos volátiles, de los cuales los hidrocarburos monoterpenos y sesquiterpenos resultaron ser los más abundantes. Al encontrar una gran potencialidad en las propiedades de dichos AEs, se procedió a evaluar su actividad insecticida frente a *Rhipibruchus picturatus*, principal plaga de vainas de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en almacenamiento. Las pruebas de toxicidad por contacto frente a *R. picturatus* demostraron que el AE obtenido es un insecticida efectivo incluso en muy bajas concentraciones. Por otro lado, se observó además que el aceite tiene efecto insecticida hasta las 72 h posteriores a su aplicación. Estos resultados permiten proponer al AE obtenido de aguaribay como un potencial agente de control de esta plaga.



Fuente de AE	Insectos blanco	Referencia
Lauraceae	<i>Tribolium castaneum</i> , <i>T. confusum</i> , <i>Sitophilus zeamais</i> y <i>Callosobruchus maculatus</i>	(Ebadollahi and Jalali Sendi, 2015; Silva et al., 2017)
Canela ( <i>Cinnamomum cassia</i> )	<i>T. castaneum</i> y <i>Lasioderma serricorne</i>	(Wang et al., 2018)
Canela ( <i>Cinnamomum burmannii</i> , <i>Cinnamomum migao</i> ), Laurel chino ( <i>Litsea pungens</i> ), Laurel ( <i>Laurus nobilis</i> )	<i>Tribolium castaneum</i> y <i>Liposcelis bostrychophila</i>	(Wang et al., 2019)
Anís estrellado ( <i>Illicium verum</i> ) y clavo ( <i>Eugenia caryophyllus</i> )	<i>Callosobruchus maculatus</i>	(Matos et al., 2020)
Anís hisopo ( <i>Agastache foeniculum</i> ), eneldo ( <i>Anethum graveolens</i> ), comino ( <i>Cuminum cyminum</i> ), hinojo ( <i>Foeniculum vulgare</i> ) y ajedrea ( <i>Satureja hortensis</i> )	<i>Callosobruchus maculatus</i>	(Ebadollahi et al., 2012)
Aguaribay ( <i>Schinus areira</i> )	<i>Rhipibruchus picturatus</i>	Presente capítulo

**Tabla 1.** Algunos ejemplos de aplicaciones de AEs como insecticidas

## 2.2 Aceites esenciales para controlar la contaminación bacteriana de alimentos

El aumento de los brotes de enfermedades bacterianas transmitidas por los alimentos representa una amenaza a la salud de la población y las economías, y se ha informado en los últimos años sobre una gran cantidad de incidentes de esta

naturaleza (León Madrazo & Segura Campos, 2020). Los alimentos contaminados pueden producir más de 200 enfermedades diferentes ocasionadas por agentes patógenos tales como las bacterias; por esta razón, la Organización Mundial de la Salud ha establecido como un objetivo clave de los últimos años el de garantizar la seguridad alimentaria (World Health Organization, 2020). Los microorganismos patógenos pueden contaminar los alimentos durante todo el proceso de producción, comenzando por el suelo, las semillas y el agua, y llegando hasta las diferentes etapas de la manipulación de los mismos (Agriopoulou, Stamatelopoulou, Sachadyn-Król y Varzakas, 2020). La adición de conservantes químicos es la técnica más utilizada para prevenir o ralentizar el crecimiento microbiano en los alimentos, que es además la principal causa de deterioro de los mismos. Sin embargo, a pesar de la extensa aplicación de estos agentes antimicrobianos, hay una falta de conservantes alimentarios eficientes y seguros, frente a la aparición de cepas resistentes en respuesta al uso indiscriminado de estos aditivos (Keymanesh, Soltani y Sardari, 2009).

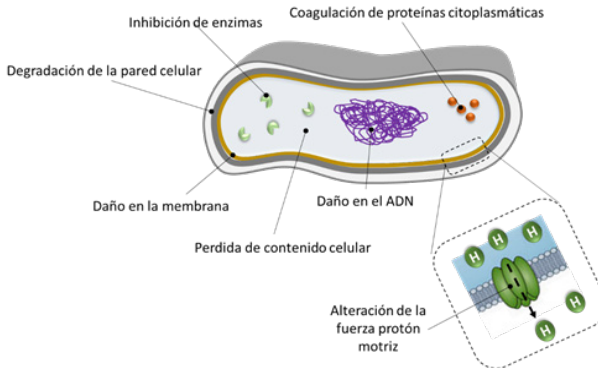
Por lo tanto, la búsqueda de nuevos agentes conservantes seguros y eficaces se ha convertido en un punto de gran interés para la conservación de alimentos (Zhou et al., 2020). Sumado a esto, la creciente demanda de los consumidores por comer alimentos sanos que contengan menos aditivos tales como los conservantes químicos (Gutierrez, Lemos y Rodriguez, 2017), hace que los conservantes alimentarios utilizados tradicionalmente para prevenir el crecimiento microbiano pierdan aceptabilidad por los consumidores (Aziz y Karboune, 2018; Ramos, Brandão, Teixeira y Silva, 2020). Como respuesta a estas nuevas demandas, existe una tendencia creciente al uso de conservantes naturales. En este contexto, un número considerable de AEs naturales y seguros comenzaron a estudiarse hace algunos años para su aplicación en la industria alimentaria (Falleh, Ben Jemaa, Saada y Ksouri, 2020). En consecuencia, muchos AEs

y componentes de AEs han sido aprobados por la Comisión Europea (CE), así como por la FDA (USA), que han clasificado estos componentes y mezclas naturales como generalmente reconocidos como seguros, GRAS por sus siglas en inglés *Generally Recognized As Safe*, para su uso como conservantes en productos alimenticios (Hyldgaard, Mygind y Meyer, 2012; Jemaa et al., 2018).

Para la potencial aplicación de AEs como conservantes en la industria alimentaria se deben considerar los efectos de los AEs sobre la conservación de los alimentos, lo que depende de su fuente y composición. Cabe mencionar que, si bien está reportado que los AEs presentan otras actividades biológicas que pueden favorecer la conservación de los alimentos, como su capacidad antioxidante, en esta sección solo abordemos su actividad antimicrobiana. Numerosos AEs han mostrado capacidad antibacteriana y antifúngica, frente a diferentes patógenos presentes en alimentos. Esta actividad antimicrobiana puede inhibir el crecimiento de los microorganismos (microstático) o destruirlos irreversiblemente (microbicida) (Tariq et al., 2019). Respecto a los mecanismos de acción por los cuales los AEs pueden dañar o destruir a las bacterias, muchos aún no se han establecido formalmente, en parte debido a la importante variabilidad en su composición química, y porque es probable que, en muchos casos, la propiedad antimicrobiana no sea atribuible a un mecanismo único o específico, sino a diferentes blancos dentro de la célula bacteriana (Hyldgaard et al., 2012; Prakash, Kedia, Mishra y Dubey, 2015).

Entre los mecanismos propuestos (Fig. 3), un sitio de acción importante es la membrana bacteriana. La interacción de los componentes de los AEs con la membrana puede afectar el potencial de membrana y el transporte de nutrientes e iones, y alterar la fuerza protón-motriz y la permeabilidad general de la célula (Hyldgaard et al., 2012). Algunos de estos efectos se han observado en AEs obtenidos de orégano (*Origanum vulgare*) y

árbol de té (*Melaleuca alternifolia*), entre otros (Cox et al., 1998; Lambert, Skandamis, Coote y Nychas, 2001). Además de su acción sobre la membrana, también se han propuestos, para los Aes, blancos intracelulares; está descrito que el AE de orégano es capaz de alterar la expresión de genes en *Staphylococcus aureus* (Muthaiyan et al., 2012); también se ha demostrado que algunos componentes del AE de tomillo son capaces de dañar el ADN bacteriano (Liu, Kang y Liu, 2021). Finalmente, otros Aes, luego del daño en la membrana, son capaces de alterar la fluidez del citoplasma inhibiendo la actividad enzimática (Cho et al., 2020; Prakash et al., 2015).



**Figura 3.** Principales blancos de acción de los AEs en las células bacterianas. (Modificado de Gutiérrez-del-Río, Fernández, & Lombó, 2018).

Además de la determinación de la capacidad antimicrobiana de los AEs, su aplicación como conservantes de alimentos requiere datos precisos sobre el efecto de los componentes de la matriz alimentaria en las propiedades antimicrobianas de los AEs. Varios estudios describen que la eficacia de los AEs puede modificarse al interactuar con ciertos componentes de los alimentos, como proteínas, grasas, agua, carbohidratos, antioxidantes y sal, así como el pH de los alimentos, que también

es un parámetro importante a considerar (Preedy, 2015). Finalmente, se debe tener en cuenta el impacto del AE en las propiedades organolépticas de los alimentos (Tiwari et al., 2009). Es por ello que es indispensable ensayar los efectos antimicrobianos de los AEs directamente en los alimentos.

En particular, los AEs obtenidos a partir de plantas aromáticas y medicinales han sido tradicionalmente los más estudiados y utilizados como conservantes de alimentos (Tabla 2) (Falleh et al., 2020). Así, por ejemplo, el AE de coriandro (*Coriandrum sativum* L.), clavo (*Syzygium aromaticum*), orégano y tomillo (*Thymus vulgaris*) han demostrado la capacidad de controlar microorganismos patógenos, incluyendo *Lysteria monocytogenes* y flora autóctona de descomposición en la carne (Speranza & Corbo, 2010). También el AE obtenido de aguaribay ha sido capaz de evitar la contaminación de salmonella en carne picada (Hayouni et al., 2008). En este contexto, en la UNSE se ha estudiado también la capacidad antibacteriana del AE obtenido de plantas de aguaribay locales, del que se observó actividad frente a *Staphylococcus aureus* (Cutro et al., 2019), un contaminante frecuente en diversos alimentos, entre los que se incluye la carne picada.

Fuente de AE	Microrganismos blanco	Tipo de Alimento	Referencia
Pimiento dulce ( <i>Pimenta racemosa</i> ), clavo ( <i>Syzygium aromaticum</i> ), canela ( <i>Cinnamomum zeylanicum</i> ), tomillo ( <i>Thymus vulgaris</i> ).	<i>Salmonella enteritidis</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Queso	(Smith-Palmer et al., 2001)
Clavo, canela, lavanda ( <i>Lavandula stoechas</i> ), mirto ( <i>Myrtus communis</i> )	<i>Escherichia coli</i>	Leche	(Falleh et al., 2019)
Tomillo	<i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Bacillus licheniformis</i> , and <i>Enterococcus hirae</i> ,		(Jemaa et al., 2018)
<i>Menta peperina</i> ( <i>Mentha peperita</i> )	<i>Salmonella enteritidis</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Ensalada de pepino y Yogurt, Pate, Ensalada de pescado	(Tassou et al., 1995)
Yerbabuena ( <i>Menta cardiaca</i> )	<i>Aspergillus flavus</i>	Frutos secos	(Dwivedy et al., 2017)
Coriandro ( <i>Coriandrum sativum L.</i> ), clavo, orégano ( <i>Origanum vulgare</i> ) y tomillo	<i>Listeria monocytogenes</i>	Carne	(Speranza and Corbo, 2010).
Aguaribay ( <i>Schinus areira</i> )	<i>Salomnella sp.</i>	Carne Picada	(Hayouni et al., 2008)
Coriandro	<i>Salmonella spp. 2008</i> ), <i>Escherichia coli</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Salchichas de cerdo	(Šojić et al., 2019)
Orégano	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	Ensalada de Berenjenas	(Skandamis and Nychas, 2000)
Palmarosa, ( <i>Cymbopogon martini</i> ), clavo , canela, cedrón ( <i>Cymbopogon citrates</i> )	<i>Salmonella Enteritidis</i> , <i>Escherichia coli</i> , y <i>Listeria innocua</i>	Jugo de Frutas	(Raybaudi-Massilia et al., 2006)

Tabla 2. Algunos ejemplos de aplicaciones de AEs en diferentes tipos de alimentos

En diferentes frutas, verduras y derivados también se han aplicado con éxito diferentes AEs. En ensaladas de berenjena, el AE de orégano mostró alta eficiencia para evitar la contaminación con *Escherichia coli* O157: H7 (Burt, 2004). Finalmente, el AE de palmarosa (*Cymbopogon martini*), clavo, canela y cedrón (*Cymbopogon citrates*) fueron evaluados como conservantes de jugos de diferentes frutas (manzana, limón, pera y melón). Si bien en todos los casos la adición de AE mostró ser capaz de controlar el crecimiento de *E. coli*, *Listeria* sp. y *Salmonella* sp, dependiendo del jugo a ensayar, el comportamiento de cada AE fue diferente (Raybaudi-Massilia et al., 2006).

Asimismo, los AEs de tomillo aplicados en leche combatieron positivamente el crecimiento de bacterias gram+ en la leche contaminada con *S. aureus*, *B. licheniformis* y *Enterococcus hirae*, y también mejoraron su calidad fisicoquímica (Jemaa et al., 2018). Por otro lado, el AE de canela, clavo y tomillo aplicado en queso indujo una reducción en la contaminación con *S. enteritidis*; sin embargo, la adición de estos AEs alteró las propiedades organolépticas del queso (Smith-Palmer et al., 2001).

A pesar del potencial demostrado por los aceites esenciales y sus constituyentes, lo que hace que actualmente algunos de ellos se puedan adquirir comercialmente, también existen algunas limitaciones que aún condicionan su utilización. Entre ellas se puede mencionar que, en muchos casos, se requieren altas concentraciones de AE para lograr una actividad antimicrobiana suficiente, lo que además de limitaciones económicas, puede provocar efectos organolépticos negativos en los alimentos que superen el umbral aceptable para los consumidores (Lv, Liang, Yuan y Li, 2011). Por otro lado, la alta hidrofobicidad de los componentes de los AEs pueden reducir su interacción y su aplicación en algunos productos alimentarios (Hyltdgaard et al., 2012). Por estas razones, actualmente existen diferentes estrategias para sobrellevar estas limitaciones.

Por un lado, si bien los AEs derivados de plantas aromáticas han sido los más empleados, muchos de estos presentan un aroma intenso que altera las propiedades del alimento, por lo que actualmente se ha extendido la búsqueda activa de nuevos AEs a otras especies vegetales. Además, la vehiculización de AEs mediante su encapsulamiento representa uno de los enfoques más atractivos, ya que para muchos AEs se ha demostrado que, mediante técnicas de encapsulamiento, se puede reducir la toxicidad del material, aumentar la estabilidad de los componentes volátiles, protegerlos de la interacción con la matriz alimentaria y el ambiente, y enmascarar el sabor y aroma indeseables de ciertos compuestos (Donsi, Annunziata, Sessa y Ferrari, 2011). En este contexto, pese a las limitaciones mencionadas, los AEs exhiben un alto potencial para ser utilizados como agentes antimicrobianos naturales: La exploración de nuevas fuentes de AE así como la aplicaciones de mezclas de estos, sumados a nuevas tecnológicas de vehiculización, contribuirán a aumentar las posibilidades de desarrollar agentes conservantes de alimentos potentes, ecológicos y más seguros, que representen una alternativa a los productos químicos sintéticos (Falleh et al., 2020).

### 3. Conclusiones

Si bien los AEs han sido aplicados desde la antigüedad, en las últimas décadas la creciente búsqueda de nuevas tecnologías eco-amigables, sumadas a la necesidad de obtener nuevos compuestos con actividad insecticida o antibacteriana debido a la aparición de resistencias frente a los agentes utilizados tradicionalmente, ha revalorizado el potencial de los AEs. Con este objetivo, tal como se ha descrito durante este capítulo, muchos estudios han demostrado la eficiencia de los AEs frente a insectos plaga que afectan el almacenamiento de granos,



así como frente a diferentes bacterias patógenas presentes en alimentos, lo que confirma que este tipo de compuestos están llamados a jugar un rol clave en la industria alimentaria moderna, la que busca combinar alta eficiencia con bajo impacto ambiental.

Sumado a lo expuesto, la posibilidad de obtener estos aceites de la flora local de Santiago del Estero, como se ha demostrado para el caso del aguaribay, representa además una oportunidad sin precedentes para el desarrollo económico y tecnológico de la región, que permitirá obtener compuestos de alto valor agregado para ser aplicados en cadenas de valor agroalimentarias.

## Bibliografía

- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils - A review. *Food Chem. Toxicol.*
- Barkman, T.J., Beaman, J.H., Gage, D.A. (1997). Floral fragrance variation in *Cypripedium*: Implications for evolutionary and ecological studies. *Phytochemistry* 44, 875–882.
- Bett, P.K., Deng, A.L., Ogendo, J.O., Kariuki, S.T., Kamatene-si-Mugisha, M., Mihale, J.M., Torto, B. (2016). Chemical composition of *Cupressus lusitanica* and *Eucalyptus saligna* leaf essential oils and bioactivity against major insect pests of stored food grains. *Ind. Crops Prod.* 82, 51–62.
- Bohra, P.M., Vaze, A.S., Pangarkar, V.G., Taskar, A. (1994). Adsorptive recovery of water soluble essential oil components. *J. Chem. Technol. Biotechnol.* 60, 97–102.
- Boyer, S., Zhang, H., Lempérière, G. (2012). A review of control methods and resistance mechanisms in stored-product insects. *Bull. Entomol. Res.*
- Braga, M.E.M., Ehlert, P.A.D., Ming, L.C., Meireles, M.A.A.(2005). Supercritical fluid extraction from *Lippia alba*: Global yields, kinetic data, and extract chemical composition. *J. Supercrit. Fluids* 34, 149–156.
- Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods - A review. *Int. J. Food Microbiol.*
- Campolo, O., Giunti, G., Russo, A., Palmeri, V., Zappalà, L.(2018). Essential Oils in Stored Product Insect Pest Control. *J. Food Qual.*
- Carvalho, R.N., Moura, L.S., Rosa, P.T.V., Meireles, M.A.A.(2005). Supercritical fluid extraction from rosemary (*Rosmarinus officinalis*): Kinetic data, extract's global yield, composition, and antioxidant activity. *J. Supercrit. Fluids* 35, 197–204.
- Chinou, I. (2005). Labdanes of Natural Origin-Biological Activities (1981-2004). *Curr. Med. Chem.* 12, 1295–1317.
- Croteau, R., Kutchan, T.M., Lewis, N.G. (2000). Secondary

- metabolites - Chap 24 (Buchanan, *Biochem & Mol Biol of Plants* 2000) 1250–1318.
- De Groot, A.C., Schmidt, E. (2016). Essential Oils, Part III: Chemical Composition. *Dermatitis* 27, 161–169.
- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., Mnif, W. (2016). Essential Oils' Chemical Characterization and Investigation of Some Biological Activities: A Critical Review. *Medicines* 3, 25.
- Dung, N.T., Kim, J.M., Kang, S.C. (2008). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the ethanol extract of *Cleistocalyx operculatus* (Roxb.) Merr and Perry buds. *Food Chem. Toxicol.* 46, 3632–3639.
- Dwivedy, A.K., Prakash, B., Chanotiya, C.S., Bisht, D., Dubey, N.K. (2017). Chemically characterized *Mentha cardiaca* L. essential oil as plant based preservative in view of efficacy against biodeteriorating fungi of dry fruits, aflatoxin secretion, lipid peroxidation and safety profile assessment. *Food Chem. Toxicol.* 106, 175–184.
- Ebadollahi, A., Jalali Sendi, J., 2015. A review on recent research results on bio-effects of plant essential oils against major Coleopteran insect pests. *Toxin Rev.*
- Ebadollahi, A., Nouri-Ganbalani, G., Hoseini, S.A., Sadeghi, G.R., 2012. Insecticidal activity of essential oils of five aromatic plants against *callosobruchus maculatus* f. (coleoptera: Bruchidae) under laboratory conditions. *J. Essent. Oil-Bearing Plants* 15, 256–262.
- Faborode, M.O., Favier, J.F., 1996. Identification and Significance of the Oil-point in Seed-oil Expression 335–345.
- Falleh, H., Ben Jemaa, M., Djebali, K., Abid, S., Saada, M., Ksouri, R., 2019. Application of the mixture design for optimum antimicrobial activity: Combined treatment of *Syzygium aromaticum*, *Cinnamomum zeylanicum*, *Myrtus communis*, and *Lavandula stoechas* essential oils against *Escherichia coli*. *J. Food Process. Preserv.* 43.
- Fornari, T., Vicente, G., Vázquez, E., García-Risco, M.R., Reglero, G., 2012. Isolation of essential oil from different plants and herbs by supercritical fluid extraction.

- J. Chromatogr. A 1250, 34–48.
- Franz, C., Novak, J., 2015. Sources of essential oils, Handbook of Essential Oils: Science, Technology, and Applications, Second Edition.
- Gershenson, J., Dudareva, N., 2007. The function of terpene natural products in the natural world. Nat. Chem. Biol. 3, 408–414.
- Hagstrum, D.W., Phillips, T.W., 2017. Evolution of Stored-Product Entomology: Protecting the World Food Supply. Annu. Rev. Entomol.
- Hayouni, E.A., Chraief, I., Abedrabba, M., Bouix, M., Leveau, J.Y., Mohammed, H., Hamdi, M., 2008. Tunisian *Salvia officinalis* L. and *Schinus molle* L. essential oils: Their chemical compositions and their preservative effects against *Salmonella* inoculated in minced beef meat. Int. J. Food Microbiol. 125, 242–251.
- Herrero, M., Cifuentes, A., Ibañez, E., 2006. Sub- and supercritical fluid extraction of functional ingredients from different natural sources: Plants, food-by-products, algae and microalgae - A review. Food Chem. 98, 136–148.
- Hubert, J., Stejskal, V., Athanassiou, C.G., Throne, J.E., 2018. Health Hazards Associated with Arthropod Infestation of Stored Products. Annu. Rev. Entomol.
- Jemaa, M. Ben, Falleh, H., Serairi, R., Neves, M.A., Snoussi, M., Isoda, H., Nakajima, M., Ksouri, R., 2018. Nanoencapsulated *Thymus capitatus* essential oil as natural preservative. Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 45, 92–97.
- Jessica Elizabeth, D.L.T., Gassara, F., Kouassi, A.P., Brar, S.K., Belkacemi, K., 2017. Spice use in food: Properties and benefits. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 6, 1078–1088.
- Khayreddine, B., 2018. Essential oils, an alternative to synthetic food additives and thermal treatments 1–41.
- Kirimer, N., Demirci, B., Iscan, G., Baser, K.H.C., Duman, H., 2008. Composition of the essential oils of two *Sideritis* species from Turkey and antimicrobial activity. Chem. Nat. Compd. 44, 121–123.

- Lahlou, M., 2004. Methods to study the phytochemistry and bioactivity of essential oils. *Phyther. Res.* 6, 435-438.
- Lee, B.H., Annis, P.C., Tumaalii, F., Choi, W.S., 2004. Fumigant toxicity of essential oils from the Myrtaceae family and 1,8-cineole against 3 major stored-grain insects. *J. Stored Prod. Res.* 40, 553-564.
- Li, X.M., Tian, S.L., Pang, Z.C., Shi, J.Y., Feng, Z.S., Zhang, Y.M., 2009. Extraction of *Cuminum cyminum* essential oil by combination technology of organic solvent with low boiling point and steam distillation. *Food Chem.* 115, 1114–1119.
- Lopez-Romero, J.C., González-Ríos, H., Borges, A., Simões, M., 2015. Antibacterial Effects and Mode of Action of Selected Essential Oils Components against *Escherichia coli* and *Staphylococcus aureus*. Evidence-based Complement. Altern. Med. Volume 2015, 795435-795444.
- Masango, P., 2005. Cleaner production of essential oils by steam distillation. *J. Clean. Prod.* 13, 833–839.
- Matos, L.F., Barbosa, D.R. e. S., Lima, E. da C., Dutra, K. de A., Navarro, D.M. do A.F., Alves, J.L.R., Silva, G.N., 2020. Chemical composition and insecticidal effect of essential oils from *Illicium verum* and *Eugenia caryophyllus* on *Callosobruchus maculatus* in cowpea. *Ind. Crops Prod.* 145, 112088.
- Muñoz, J. de D., 1990. Anacardiaceae. Flora del Paraguay.
- Özel, M.Z., Göğüş, F., Lewis, A.C., 2006. Comparison of direct thermal desorption with water distillation and superheated water extraction for the analysis of volatile components of *Rosa damascena* Mill. using GCxGC-TOF/MS. *Anal. Chim. Acta.* 566, 172-177.
- Pavela, R., Benelli, G., 2016. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends Plant Sci.*
- Pérez, S.G., Ramos-López, M.A., Zavala-Sánchez, M.A., Cárdenas-Ortega, N.C., 2010. Activity of essential oils as a biorational alternative to control coleopteran insects in stored grains. *J. Med. Plants Res.* 25, 2817-2835.
- Rajendran, S., Sriranjini, V., 2008. Plant products as fumigants for stored-product insect control. *J. Stored*

- Prod. Res. 44, 126-135.
- Raybaudi-Massilia, R.M., Mosqueda-Melgar, J., Martín-Belloso, O., 2006. Antimicrobial activity of essential oils on *Salmonella enteritidis*, *Escherichia coli*, and *Listeria innocua* in fruit juices. *J. Food Prot.* 69, 1579–1586.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, J.T., 2012. Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annu. Rev. Entomol.*
- Reis-Avila, G., Oliveira, J.M., 2017. Lauraceae: A promising family for the advance of neotropical dendrochronology. *Dendrochronologia*.
- Ribeiro-Santos, R., Andrade, M., Madella, D., Martinazzo, A.P., de Aquino Garcia Moura, L., de Melo, N.R., Sanches-Silva, A., 2017. Revisiting an ancient spice with medicinal purposes: Cinnamon. *Trends Food Sci. Technol.*
- Sadgrove, N., Jones, G., 2015. A Contemporary Introduction to Essential Oils: Chemistry, Bioactivity and Prospects for Australian Agriculture. *Agriculture* 5, 48–102.
- Scrivanti, L.R., Zunino, M.P., Zygadlo, J.A., 2003. *Tagetes minuta* and *Schinus areira* essential oils as allelopathic agents. *Biochem. Syst. Ecol.* 31, 563–572.
- Seo, M.D., Won, H.S., Kim, J.H., Mishig-Ochir, T., Lee, B.J., 2012. Antimicrobial peptides for therapeutic applications: A review. *Molecules* 17, 12276–12286.
- Silva-Santos, A., Antunes, A.M.S., Bizzo, H.R., D'Avila, C.A., Souza-Santos, L.C., 2004. The application of essential oils and terpenics/terpenoids compounds in the fields of pharmaceutical and cosmetic through the knowledge registered in patents. *Rev. Bras. Farmacogn.* 14, 48–50.
- Silva, S.M., Haddi, K., Viteri Jumbo, L.O., Oliveira, E.E., 2017. Progeny of the maize weevil, *Sitophilus zeamais*, is affected by parental exposure to clove and cinnamon essential oils. *Entomol. Exp. Appl.*
- Skandamis, P.N., Nychas, G.J.E., 2000. Development and evaluation of a model predicting the survival of *Escherichia coli* O157:H7 NCTC 12900 in homemade eggplant salad at va-

- rious temperatures, pHs, and oregano essential oil concentrations. *Appl. Environ. Microbiol.* 66, 1646–1653.
- Smith-Palmer, A., Stewart, J., Fyfe, L., 2001. The potential application of plant essential oils as natural food preservatives in soft cheese. *Food Microbiol.* 18, 463–470.
- Šojić, B., Pavlič, B., Ikonić, P., Tomović, V., Ikonić, B., Zeković, Z., Kocić-Tanackov, S., Jokanović, M., Škaljac, S., Ivić, M., 2019. Coriander essential oil as natural food additive improves quality and safety of cooked pork sausages with different nitrite levels. *Meat Sci.* 157.
- Solis-Quispe, L., Tomaylla-Cruz, C., Callo-Choquelvica, Y., Solís-Quispe, A., Rodeiro, I., Hernández, I., Fernández, M.D., Pino, J.A., 2016. Chemical composition, antioxidant and antiproliferative activities of essential oil from *Schinus areira* L. and *Minthostachys spicata* (Benth.) Epl. grown in Cuzco, Peru. *J. Essent. Oil Res.* 28, 234–240.
- Soto Ayala, R., Luque de Castro, M.D., 2001. Continuous subcritical water extraction as a useful tool for isolation of edible essential oils. *Food Chem.* 75, 109–113.
- Speranza, B., Corbo, M.R., 2010. Essential oils for preserving perishable foods: possibilities and limitations. *Appl. Altern. food-preservation Technol. to Enhanc. food Saf. Stab.* 23, 35–37.
- Swamy, M.K., Akhtar, M.S., Sinniah, U.R., 2016. Antimicrobial properties of plant essential oils against human pathogens and their mode of action: An updated review. *Evidence-based Complement. Altern. Med.* 2016, 1–21.
- Tassou, C.C., Drosinos, E.H., Nychas, G.J.E., 1995. Effects of essential oil from mint (*Mentha piperita*) on *Salmonella enteritidis* and *Listeria monocytogenes* in model food systems at 4° and 10°C. *J. Appl. Bacteriol.* 78, 593–600.
- Wang, G.W., Hu, W.T., Huang, B.K., Qin, L.P., 2011. *Illicium verum*: A review on its botany, traditional use, chemistry and pharmacology. *J. Ethnopharmacol.*
- Wang, L., Weller, C.L., 2006. Recent advances in extraction of nutraceuticals from plants. *Trends Food*

- Sci. Technol. 17, 300–312.
- Wang, Y., Dai, P.P., Guo, S.S., Cao, J.Q., Pang, X., Geng, Z.F., Sang, Y.L., Du, S.S., 2018. Supercritical carbon dioxide extract of *Cinnamomum cassia* bark: toxicity and repellency against two stored-product beetle species. *Environ. Sci. Pollut. Res.*
- Wang, Y., Zhang, L.T., Feng, Y.X., Zhang, D., Guo, S.S., Pang, X., Geng, Z.F., Xi, C., Du, S.S., 2019. Comparative evaluation of the chemical composition and bioactivities of essential oils from four spice plants (Lauraceae) against stored-product insects. *Ind. Crops Prod.* 140, 111640.



## PÉPTIDOS ANTIBACTERIANOS. APLICACIONES EN SALUD Y ALIMENTOS

AXEL HOLLMANN<sup>1</sup>; PATRICIA MATURANA<sup>2</sup>;  
JUAN C. ESPECHE <sup>3</sup>; ROMINA VARAS<sup>4</sup>; ANIKE FERREYRA MAILLARD<sup>5</sup>;  
ANDREA C. CUTRO<sup>6</sup>; SERGIO RODRIGUEZ<sup>7</sup>

### Resumen

Las bacterias son el agente causal de numerosas enfermedades infecciosas para el ser humano y los animales. Por otro lado, son también uno de los mayores causantes del deterioro de los alimentos. Es por ello que la humanidad, desde hace

1 Dir. del proyecto - Dr. en Ciencias Básicas y Aplicadas. Investigador Independiente CIBAAL (UNSE - CONICET).

2 Lic. en Química. Becaria doctoral CIBAAL (UNSE-CONICET).

3 Lic. en Química. Becario doctoral CIBAAL (UNSE-CONICET).

4 Ing. en Alimentos. Becaria doctoral CIBAAL (UNSE-CONICET).

5 Dra. en Ciencias Biológicas. Becaria posdoctoral CIBAAL (UNSE-CONICET).

6 Dra. en Ciencias Biológicas. Facultad de Ciencias Médicas (UNSE). Investigadora Asistente CIBAAL (UNSE - CONICET).

7 Dr. en Ciencias Químicas. FAyA, UNSE. Investigador Adjunto (CONICET).

milenios, viene desarrollando métodos para inhibir o eliminar su crecimiento; en particular, se puede mencionar el descubrimiento de los antibióticos en el siglo pasado, que marcó un hito en la batalla contra las bacterias. Sin embargo, el abuso de los antibióticos y de otros agentes químicos ha traído como consecuencia el desarrollo de bacterias resistentes. Esta situación se ha visto agravada en las últimas décadas y representa un grave desafío para la salud pública mundial. Por consiguiente, numerosas investigaciones se han centrado en la búsqueda de nuevos agentes antibacterianos capaces de hacer frente a bacterias resistentes y multiresistentes. En este contexto, los péptidos antimicrobianos aparecen como una alternativa novedosa que permite controlar el crecimiento de bacterias, incluso de aquellas resistentes a los antibióticos tradicionales. Estos péptidos con capacidad antimicrobiana, que se encuentran presentes en prácticamente todos los seres vivos, representan una nueva fuente de compuestos antibióticos. A su vez, estos péptidos pueden ser modificados mediante la síntesis orgánica en pos de mejorar su bioactividad. Por otro lado, la posibilidad de obtener estos péptidos a partir de fuentes alimentarias conlleva, además, su posible utilización como conservantes alimentarios para evitar así el deterioro ocasionado por las bacterias. En este capítulo se abordará la caracterización y clasificaciones de estos péptidos, su mecanismo de acción bactericida y sus potenciales aplicaciones en el área de la salud y de la industria alimentaria.

Palabras clave: Péptidos antimicrobianos, Bacterias patógenas, Resistencia, Bacteriocinas, Conservantes alimentarios

## **Applications in health and food**

**Abstract:** Bacteria are the causal agent of many infectious diseases for humans and animals. Also, they are one of the major causes of food spoilage. In this sense, humanity for millennia has developed methods to eliminate or inhibit the growth of microorganisms. In particular, the discovery of antibiotics in the last century marked a milestone in the battle against bacteria. However, the abuse in the use of antibiotics and other chemical agents has implied the development of resistant bacteria. This situation has worsened in recent decades, representing a serious challenge for global public health. In this context, numerous investigations have focused on the search for new antibacterial agents capable of dealing with resistant and multi-resistant bacteria. In this context, antimicrobial peptides appear as a novel alternative that makes it possible to control the growth of bacteria, even those resistant to traditional antibiotics. These peptides with antimicrobial capacity, which are present in practically all living beings, represent a new source of antibiotic compounds. In turn, these peptides can be modified by organic synthesis in order to improve their bioactivity. On the other hand, the possibility of obtaining these peptides from food sources also implies their possible use as food preservatives, avoiding deterioration caused by bacteria. This chapter will address the characterization and classifications of these peptides, their bactericidal action mechanism, and their potential applications in the area of health and the food industry.

**Keywords:** Antibacterial Peptides, Pathogen bacteria, Resistance, Bacteriocins, Food preservatives

## 1. Introducción

Desde su descubrimiento, los antibióticos han tenido un impacto enorme en el tratamiento de enfermedades infecciosas y en el éxito de los procedimientos médicos, como la cirugía y la quimioterapia. Sin embargo, el aumento de la resistencia a los antibióticos amenaza con revertir algunos de estos avances (Waterer y Wunderink, 2001). Por lo tanto, es importante considerar otros tipos de antimicrobianos; en este contexto, los péptidos antibacterianos (AMP) se presentan como una nueva fuente de compuestos antibióticos (Hancock, 2000).

La primera mención de un péptido con actividad antimicrobiana fue reportada hace más de 80 años, con la descripción de la nisina en 1928 (Rogers y Whittier, 1928). Posteriormente, se demostró que la linfa de los insectos, los gránulos de los neutrófilos humanos y la piel de las ranas contenían péptidos que podían matar bacterias en cultivo. Estos péptidos, que luego recibieron el nombre de péptidos antimicrobianos (AMP, por sus siglas en inglés *AntiMicrobial Peptides*), representan parte de la primera línea de defensa de diferentes organismos frente a agentes infecciosos (Zasloff, 2002). Posteriormente, estos péptidos de origen natural fueron modificados sintéticamente, como un enfoque para mejorar su bioactividad, cambiando sus secuencias de aminoácidos (Cardoso *et al.* 2020; Torres *et al.* 2019). Según la última actualización del repositorio de datos de AMP<sup>8</sup>, de un total de 5966 péptidos descritos, 4414 son péptidos naturales y 1552 son sintéticos, incluyendo péptidos diseñados “*de novo*” así como modificaciones de los naturales (Kang *et al.*, 2019)<http://dramp.cpu-bioinfor.org/>.

La mayoría de los AMP caracterizados en la literatura son

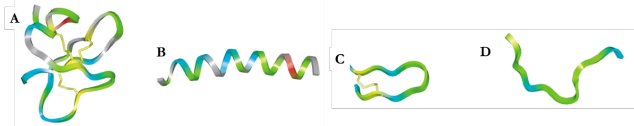
8 DRAMP; <http://dramp.cpu-bioinfor.org/browse/>

catiónicos, lo que significa que tienen una carga positiva a un pH fisiológico, debido, usualmente, al gran contenido de arginina y lisina (residuos cargados positivamente) en relación con los aminoácidos ácido aspártico y ácido glutámico (residuos cargados negativamente). Generalmente, poseen una ionización entre +2 y +9 y una proporción substancial ( $\geq 30\%$ ) de residuos hidrofóbicos. Además, este carácter catiónico puede ser reforzado por una amidación en el extremo C terminal (Hale y Hancock, 2007). Desde su descubrimiento, se han observado péptidos catiónicos en prácticamente todas las especies, incluidas bacterias, hongos, insectos, anfibios, crustáceos, aves, peces, mamíferos y seres humanos. Estos péptidos, además de su capacidad para matar microorganismos directamente, parecen ser capaces de reclutar y promover otros elementos de la inmunidad del hospedero, particularmente la inmunidad innata (Hancock, 2000).

### 1.1 Naturaleza y distribución

Los péptidos catiónicos tienen una enorme variedad de secuencias y estructuras, pero ciertas características son comunes (Hancock, 2000; Hollmann *et al.*, 2018); por ejemplo, tienen generalmente una longitud de 12 a 50 aminoácidos. Debido a su carga positiva y a la presencia de aminoácidos hidrofóbicos, estas moléculas son capaces de interactuar con membranas biológicas, especialmente las membranas bacterianas. Sin embargo, tanto las estructuras secundarias de estos péptidos, que se pueden clasificar en cuatro clases, como sus secuencias de aminoácidos, incluso dentro de cada una de estas clases, son bastante heterogéneas. Las cuatro clases estructurales de AMP incluyen péptidos en *horquilla  $\beta$* , estabilizados por dos o tres enlaces disulfuro (Figura 1 A), pépti-

dos  $\alpha$ -hélice que poseen una estructura helicoidal antipática (Figura 1B), péptidos extendidos (Figura 1C) y péptidos de horquilla  $\beta$ , que poseen un *loop* debido a un enlace disulfuro simple (Figura 1D). Cabe mencionar que las estructuras de las últimas tres clases de péptidos se forman tras la interacción de estos con la membrana (Hollmann *et al.*, 2018). Los péptidos horquilla  $\beta$  y  $\alpha$ -hélices son, con mucho, los más comunes en la naturaleza.



**Figura 1.** Modelos moleculares basados en espectroscopia de resonancia magnética nuclear bidimensional de las diferentes clases estructurales de péptidos catiónicos. A. Defensina-2 humana HBD-2. B. Magainina 2. C. Bactenecina bovina. D. Indolicidina bovina. Las estructuras se muestran con las regiones cargadas en azul y los residuos hidrófobos en verde. Adaptado de (Hancock 2001).

## 1.2 Péptidos sintéticos

Los AMP de origen natural producidos por células inmunes, como neutrófilos, eosinófilos y macrófagos (Maturana *et al.*, 2020; Hancock, 2001), fueron los primeros en ser estudiados para combatir infecciones. Con un enfoque para mejorar su bioactividad, se produjeron posteriormente nuevos péptidos de forma sintética mediante cambios en sus secuencias de aminoácidos (Giuliani y Rinaldi, 2010). Aquellos péptidos que tienen fuentes naturales pueden ser aislados de animales, plantas y bacterias; sin embargo, la gran cantidad

de muestra biológica requerida y la alta dificultad de expresión llevaron a los investigadores a sintetizar esos péptidos químicamente, con la ventaja de tener una mayor pureza y rendimiento (Meneguetti *et al.*, 2017). Esta estrategia permitió el diseño de AMP sintéticos mediante dos enfoques diferentes. El primero fue usar AMP naturales como plantillas y, con pequeñas modificaciones considerando las propiedades óptimas para un AMP altamente activo, rediseñar su secuencia, ya sea cambiando los residuos de aminoácidos o acortándolos (Cardoso *et al.*, 2016; Migliolo *et al.*, 2016). El otro enfoque fue utilizar herramientas de bioinformática en el diseño de AMP “*de novo*” puramente sintéticos. El número de bases de datos con secuencias de AMP ha aumentado considerablemente en los últimos años, lo que ayuda a los investigadores en el proceso de diseño o en el rastreo de secuencias diseñadas (Waghu *et al.*, 2016)

### 1.3 Actividad antimicrobiana

Los AMP tienen una gama sorprendente de actividades antimicrobianas que incluyen la acción contra la mayoría de las bacterias gramnegativas y grampositivas, hongos, virus envueltos y parásitos (Gomes *et al.*, 2018b). Para evaluar la capacidad antibacteriana de los péptidos, se utilizan de forma rutinaria diferentes métodos; entre ellos, la determinación de la concentración inhibitoria mínima (CIM), es decir la menor concentración de péptido requerida para inhibir el crecimiento de un microorganismo, es la técnica más empleada para determinar su actividad en bacterias y levaduras (National Committee for Clinical Laboratory Standards, 2015).

Péptido	Origen	Secuencia	CIM (mg/mL)		
			E. coli	S. aureus	C. albicans
HNP1	Neutrófilos humanos	AC <sub>1</sub> YC <sub>2</sub> RIPAC <sub>2</sub> IAGE-RRYGTC <sub>4</sub> IYQGRLWA-FC <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	>50	3-1	
HBD-3	Piel humana	GIINTLQKYIC <sub>2</sub> R-VRGGRC <sub>2</sub> AVLSC <sub>3</sub> L-PKEEQIGKC <sub>2</sub> STRGR-KC <sub>1</sub> C <sub>3</sub> RRKK	6	12	6
Polifemusina I	Cangrejo herradura	RRWC <sub>2</sub> FRVC <sub>2</sub> YRGFC <sub>2</sub> YRKC <sub>1</sub> R-NH <sub>2</sub>	0-13	0-5	1
Protegrina	Cerdo	RGGRLC <sub>1</sub> YC <sub>2</sub> RRRFC <sub>2</sub> VC <sub>1</sub> VGR-NH <sub>2</sub>	0-5	2	4
IB-367	Sintético	RGGLC <sub>1</sub> YC <sub>2</sub> RGRFC <sub>1</sub> VC <sub>2</sub> VGR-NH <sub>2</sub>	1	4	32
Magainina II	Rana	GIGKFLHSAKKFGKAFVGEIMNS	50	>100	
MSI-78	Sintético	GIGKFLKAKKFGKAFVKILK-NH <sub>2</sub>	2	16	
Cecropina B	Gusano de seda	KWKVFKKIEKMGR-NIRNGIVKAGPAIAVL-GEAKAL-NH <sub>2</sub>	5	>200	
CP- 2	Sintético	KWKKFIKKIGIGAVLK-VLTTGLPALKLTKK	2	16	64
Indolicidina	Neutrófilos bovinos	ILPWKWPWWPWRR-NH <sub>2</sub>	16	8	4
CP-11CN	Sintético	ILKKWPWWPWRRK-NH <sub>2</sub>	4	16	16
CP-10A	Sintético	ILAWKWAWWAWRR-NH <sub>2</sub>	8	4	16
Bactenecina	Neutrófilos bovinos	RLC <sub>1</sub> RIVVIRVC <sub>1</sub> R	8	32	64
BacW2R	Sintético	RRLC <sub>1</sub> RIVWVIRVC <sub>1</sub> R	2	2	>64



Gramicidina S	Bacterias	Cíclico (LOVPP <sup>d</sup> LO-VPP <sup>d</sup> )	8	2	2
Polimixina B	Bacterias	Isooctanoil BTBB (BF <sup>d</sup> LBBT) ciclado	0-5	32	32

**Tabla 1.** Secuencias y valores de CIM de AMP catiónicos naturales y sintéticos seleccionados (Modificado de Hancock, 2010)

En la Tabla 1 se presentan las CIM de algunos péptidos representativos para una bacteria gramnegativa (*Escherichia coli*), una bacteria grampositiva (*Staphylococcus aureus*) y un patógeno oportunista fúngico (*Candida albicans*). Como se mencionó previamente, los AMP poseen actividad contra la mayoría de las bacterias, incluyendo bacterias patógenas altamente resistentes a los antibióticos tradicionales como *Pseudomonas aeruginosa* multirresistente, *S. aureus* resistente a meticilina y *Stenotrophomonas maltophilia*. (Zhang *et al.*, 2000; X. Zhao *et al.*, 2013)PV7, and PV8. Esta característica se analizará en profundidad en la sección 2.2 *Los AMP frente a bacterias resistentes y multirresistentes*. Los AMP, además de inhibir el crecimiento de estas bacterias, poseen actividad bactericida, es decir, destruyen a las bacterias en forma irreversible.

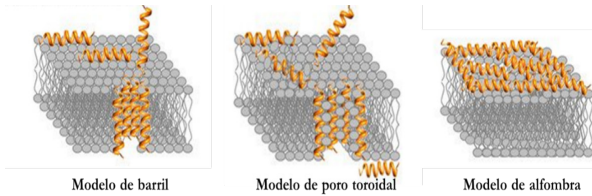
La comprensión del mecanismo de acción de los AMP es un prerequisite para desarrollar AMP eficientes y seguros que se puedan aplicar como nuevos fármacos. Curiosamente, la farmacodinámica de los AMP es compleja y se sabe que varios AMP muestran efectos múltiples y complementarios en el hospedero que varían según parámetros, como la concentración del péptido, la localización del tejido, el patógeno objetivo del AMP, la fase de crecimiento del patógeno y el entorno local. Sin embargo, la mayoría de los AMP ejercen un efecto bactericida directo al alterar la integridad de la membrana del microorganismo objetivo y/o al desplazarse a través de la membrana microbiana para alcanzar los blancos intracelulares. (Mahlapuu *et al.*, 2016). En este contexto, la selectividad de

los AMP para atacar la membrana de la bacteria y no la membrana de las células del hospedero es también un punto central en el desarrollo de AMP; este aspecto se abordará posteriormente en la sección 2.3 *Citotoxicidad*.

Las interacciones de los AMP con la membrana, mediadas por las fuerzas electrostáticas entre los AMP con carga positiva y la superficie bacteriana con carga negativa, son fundamentales para la acción bactericida de los AMP (Ebenhan *et al.*, 2014). Tanto las bacterias grampositivas como las gramnegativas poseen membranas citoplasmáticas ricas en fosfolípidos cargados negativamente, lo que promueve fuertemente las interacciones con los AMP catiónicos. Además, los ácidos teicoicos que están presentes en la pared celular de las bacterias grampositivas y los lipopolisacáridos (LPS) constituyentes de la membrana externa de las bacterias gramnegativas suministran una carga electronegativa adicional a la superficie de las bacterias, fortaleciendo la interacción con los AMP (Ebenhan *et al.*, 2014; Malmsten, 2015). Una vez en contacto con la superficie bacteriana, el AMP adopta su estructura activa al interactuar con la membrana lipídica (Teixeira, Feio y Bastos, 2012).

Se han propuesto diferentes mecanismos por los cuales, luego de interactuar con la membrana bacteriana, los AMP inducen la permeabilización de la misma ocasionando en última instancia la muerte bacteriana. Entre ellos, los modelos de barril, poro toroidal y de alfombra o carpeta son los más comunes (Fig. 2) (Kumar, Kizhakkedathu y Straus, 2018). En el modelo de barril, los péptidos adoptan una posición vertical respecto a la membrana, para luego unirse y formar un canal iónico (Harder y Schröder 2015; Krauson 2011). En el modelo de poro toroidal, la interacción de los péptidos con los lípidos induce un reordenamiento de estos: sus cabezas polares se inclinan hacia el centro, de modo que se forma un poro en la membrana cuyas paredes están formados por los péptidos insertados y las cabezas polares de lípidos (Li *et al.*, 2021).

Finalmente, en el modelo de alfombra, los péptidos se insertan paralelamente en la superficie externa de la membrana. La acumulación de péptidos en una concentración adecuada induce una perturbación tal en la tensión y en la curvatura de la membrana, que finalmente conduce a la formación de poros o defectos en ella; sin embargo, cabe destacar que, en este caso, los poros o defectos formados ocurren en forma transitoria y dinámica, a diferencia de los modelos anteriores (Harder y Schröder 2015).



**Figura 2.** Mecanismos de acción propuestos para los AMP en bacterias. Adaptado de Kumar *et al.*, (2018).

De este modo, los AMP son un grupo diverso de péptidos que, por sus propiedades antibacterianas, presentan importantes aplicaciones en diferentes ámbitos, incluyendo el *área* de la salud, como el desarrollo de nuevos fármacos antibacterianos, y en la industria alimentaria, con la producción de conservantes que prevengan el desarrollo de los microorganismos que provocan el deterioro de los alimentos y posibles infecciones ocasionadas por patógenos. En las siguientes secciones de este capítulo analizaremos más en profundidad el rol que los AMP pueden tener tanto en el área de la Salud, como en la industria alimentaria.

## 2. Aplicaciones de los AMP en salud

Las infecciones bacterianas son un problema de salud que representa importantes costos tanto en el aspecto económico como en la morbilidad y mortalidad de las personas afectadas (Pachay Solórzano, 2018). En ese contexto, el descubrimiento de la penicilina por Alexander Fleming en 1928 revolucionó la salud pública, pues dio inicio a la llamada "era de los antibióticos". En los últimos 60 años, importantes mejoras en el reconocimiento temprano y el tratamiento de enfermedades infecciosas han dado como resultado unas reducciones de la morbilidad y la mortalidad asociadas con estas enfermedades. En gran parte, esto es debido al rápido desarrollo de nuevos tratamientos antimicrobianos seguros y eficaces, los que han podido atacar al agente microbiano específico que causa la infección y, así, ayudar al hospedero infectado a eliminarla. Sin embargo, ya el propio Fleming había advertido que el uso inapropiado de penicilina podría conducir a la selección de «formas mutantes» resistentes que podrían causar infecciones más graves en el hospedero o en otras personas con las que el hospedero estuvo en contacto y, por lo tanto, estas nuevas bacterias resistentes podrían transmitir los genes responsables de esa resistencia otras bacterias (Aruković, Fetahović y Pehlivanović, 2019). Estas "bacterias mutantes" resistentes a la penicilina no tardaron en aparecer, y actualmente cada día se informa que nuevas bacterias anteriormente susceptibles a los antimicrobianos de uso clínico han desarrollado resistencia a diferentes tipos de antibióticos; esto representa un nuevo desafío para la salud a nivel global.

### 2.1 La problemática de las bacterias resistentes

La resistencia a los antimicrobianos (AMR, por sus siglas en in-

glés), es decir, la capacidad de una bacteria de volverse resistente a la acción de un agente antibacteriano, es uno de los problemas más serios que enfrenta la salud pública a nivel global en el siglo XXI (Abushaheen *et al.*, 2020). Asimismo, la AMR ha tenido impacto a nivel económico y social, dado que conlleva el uso de antibióticos de mayor costo, mayores períodos de internación, el requerimiento de equipamiento especializado, así como pérdidas en la productividad e incremento en la tasa de mortalidad.

Existen cuatro principales sectores implicados en el desarrollo de la AMR dentro de los que se cuenta la medicina humana en la comunidad; la medicina humana en el ambiente hospitalario; la producción animal y la agricultura; y el medioambiente (Prestinaci, Pezzotti y Pantosti, 2015) published in April 2014, collected for the first time data from national and international surveillance networks, showing the extent of this phenomenon in many parts of the world and also the presence of large gaps in the existing surveillance. In this review, we focus on antibacterial resistance (ABR. En esta problemática se incluyen las bacterias multirresistentes, las cuales tienen la capacidad de desarrollarse en presencia de uno o varios grupos de antibióticos. La facilidad que poseen las bacterias para adquirir e intercambiar material genético puede explicar la sencillez con la que se tornan resistentes y propagan dicha resistencia a otras bacterias. En la actualidad, se encuentran descriptos múltiples mecanismos de resistencia bacteriana (Christaki, Marcou y Tofarides, 2020; Abushaheen *et al.*, 2020)

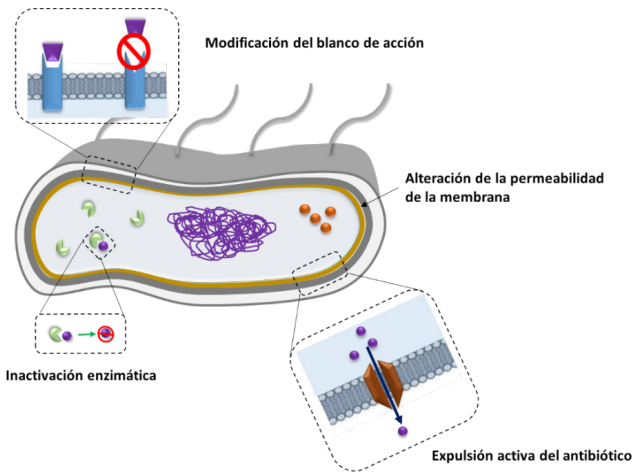


Figura 3. Mecanismos de resistencia de las bacterias frente a los antibióticos.

- **ausencia del sitio blanco:** de este modo, los antibióticos no pueden ejercer su acción sobre la bacteria.

- **modificación del sitio blanco:** Este mecanismo, al igual que el anterior, no permite que el antibiótico reconozca su sitio blanco para ejercer su acción bactericida. Como, por ejemplo, la resistencia a macrólidos por metilación de subunidad ribosomal.

- **inactivación enzimática del antibiótico:** la enzima producida por la bacteria inactiva a la molécula volviéndola incapaz de actuar. Las  $\beta$ -lactamasas son el ejemplo más conocido de este mecanismo, ya que estas enzimas son capaces de hidrolizar el anillo  $\beta$ -lactámico de las penicilinas.

- **expulsión activa del antibiótico por bombas:** la bacteria es capaz de expulsar el antibiótico mediante un mecanismo de transporte activo que consume ATP. La mayoría de estos sistemas de eflujo pueden transportar múltiples sustancias no

relacionadas y, por lo tanto, pueden resultar en resistencia a múltiples fármacos.

- **reducción de la permeabilidad de la membrana:** La bacteria es capaz de alterar la permeabilidad de la membrana, por ejemplo, mediante modificaciones en las porinas, lo que impide o dificulta el ingreso de un antibiótico a la célula. Este mecanismo es responsable de múltiples resistencias en bacterias gramnegativas.

- **bloqueo del transporte del antibiótico:** de esta forma se consigue resistencia a la fosfomicina por pérdida del sistema de transporte del glicerol-fosfato que le permite a este antibiótico ingresar en la bacteria.

En este contexto, la Organización Mundial de la Salud (OMS) publicó en 2017 su primera lista de «patógenos prioritarios» resistentes a los antibióticos, constituida por las doce familias de bacterias consideradas las más peligrosas para la salud humana, agrupadas en tres categorías de acuerdo a la urgencia de hallar nuevos antibióticos, a saber: prioridad crítica, alta o media (Tabla 2).

Prioridad 1: CRÍTICA

Acinetobacter baumannii, resistente a los carbapenémicos

Pseudomonas aeruginosa, resistente a los carbapenémicos

Enterobacteriaceae, resistentes a los carbapenémicos, productoras de ESBL ( $\beta$ -lactamasas de espectro extendido)

<p>Prioridad 2: ELEVADA</p> <p>Enterococcus faecium, resistente a la vancomicina</p> <p>Staphylococcus aureus, resistente a la meticilina, con sensibilidad intermedia y resistencia a la vancomicina</p> <p>Helicobacter pylori, resistente a la claritromicina</p> <p>Campylobacter spp., resistente a las fluoroquinolonas</p> <p>Salmonellae, resistentes a las fluoroquinolonas</p> <p>Neisseria gonorrhoeae, resistente a la cefalosporina, resistente a las fluoroquinolonas</p>
<p>Prioridad 3: MEDIA</p> <p>Streptococcus pneumoniae, sin sensibilidad a la penicilina</p> <p>Haemophilus influenzae, resistente a la ampicilina</p> <p>Shigella spp., resistente a las fluoroquinolonas</p>

**Tabla 2.** Lista OMS de patógenos prioritarios para la I+D de nuevos antibióticos

El surgimiento de la pandemia de neumonía atípica (COVID-2019) a finales de 2019 eclipsó, en un primer momento, la significancia de la amenaza de la ARM para la salud y la economía mundial. Sin embargo, si bien el agente etiológico causante de la pandemia es el virus SARS CoV-2 de la familia de coronavirus (Zhou *et al.*, 2020) su aparición también presenta algunas consecuencias importantes para el desarrollo de las ARM (Murray, 2020). Durante la primera ola de contagios por COVID-19, en una recopilación de datos registrados, se identificaron numerosas infecciones secundarias de los pacientes de UCI COVID-19 positivos; el tipo de infección más común resultó ser la neumonía bacteriana o fúngica (Clancy y Nguyen, 2020; G. Chen *et al.*, 2020). Sumado a la evidencia anterior, un factor no menor a tener en cuenta es la predisposición a las



superinfecciones debido al COVID-19 (Wang *et al.*, 2020; Chen *et al.*, 2020). Sin embargo, se debe tener mucha precaución dado que, como ya se mencionó, el uso inadecuado o excesivo de antibióticos es un factor importante en la aparición de la AMR. En este contexto, estudios basados en el análisis de diferentes bases de datos de casos clínicos de coronavirus y coinfecciones reportados durante este período arrojaron datos alarmantes sobre la prescripción de antimicrobianos; esto puso en evidencia un extenso uso de antibacterianos, a pesar de la escasez de pruebas de coinfección bacteriana para decidir su uso, lo que implicará, sin dudas, un aumento en la presencia de AMR en el corto plazo (Rawson *et al.*, 2020). Por consiguiente, la crisis generada por COVID-19 tendrá importantes consecuencias para el desarrollo de AMR no solo en la clínica, sino en la comunidad, en el medio ambiente y en relación con la conciencia pública. Esto implica que se deberán redoblar esfuerzos para comprender estos efectos potenciales de la AMR (Murray, 2020).

## 2.2 Los AMP frente a bacterias resistentes y multirresistentes

Como se desprende del apartado anterior, la problemática de los microorganismos resistentes implica la necesidad de buscar y desarrollar nuevos compuestos terapéuticos. Recientemente, se ha demostrado que muchos AMP poseen numerosas características interesantes, como un espectro amplio de actividad frente a diferentes bacterias patógenas, una eficiencia comparable a muchos antibióticos utilizados actualmente y, en muchos casos, un rápido mecanismo de acción, por ejemplo, el AMP PaDBS1R1 es capaz de eliminar a *E. coli* en menos de 5 minutos (Irazazabal *et al.*, 2019). Estas propieda-

des han llevado a un mayor interés en la posible aplicación de los AMP como un nuevo género de compuestos antibióticos (Rossi *et al.*, 2008; Smith y Hillman, 2008). Por otro lado, muchas bacterias poseen la capacidad de producir biopelículas o *biofilms*, que son estructuras multicelulares tridimensionales, en las que las bacterias están incrustadas en una matriz extracelular compuesta de polisacáridos, ADN y proteínas. Esta matriz puede interrumpir el contacto entre los organismos y los agentes bactericidas, lo que aumenta la supervivencia de estos patógenos y, en consecuencia, reduce la eficacia de los antibióticos (Yoon y Lee, 2018; Santarelli *et al.*, 2018; Cacciatore, Brandelli y Malheiros, 2020). De este modo, la capacidad de los AMP para actuar inhibiendo o erradicando esta estructura de resistencia es también una característica deseable para la aplicación de los AMP.

En los últimos años, los reportes de AMP capaces de actuar frente a microorganismos resistentes han crecido constantemente y pone de manifiesto el potencial de este tipo de moléculas (Magana *et al.*, 2020). Está demostrado que diferentes AMP pueden actuar sobre varios patógenos, incluyendo *Clostridium difficile* y bacterias emergentes resistentes a antibióticos como *S. aureus* resistente a la meticilina (MRSA), enterococos resistentes a vancomicina (VRE) y *E. coli entero-hemorrágica* (Zhao *et al.*, 1998; Piper *et al.*, 2009). Por ejemplo, numerosas investigaciones *in vitro* e *in vivo* han evidenciado la efectividad y seguridad de la *lisostafina*, un AMP de origen bacteriano (bacteriocina) producido por *Staphylococcus simulans* y purificado en formulaciones farmacéuticas para erradicar *S. aureus* en infecciones nasales y biopelículas (Jayakumar *et al.*, 2021).

Además, AMP de otros orígenes han mostrado ser capaces de combatir numerosos patógenos, incluyendo a bacterias resistentes y multirresistentes. El AMP LL-37, derivado de la catelicidina humana y, probablemente, uno de los AMP más

estudiados, ha presentado alta eficiencia para combatir una amplia gama de patógenos bacterianos que incluyen bacterias resistentes y sensibles a los antibióticos tradicionales; entre estas se puede enumerar a las siguientes: *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Enterococcus*, *Clostridium*, *Listeria*, *Nocardia*, *Bacillus*, *Aggregatibacter*, *Peptostreptococcus*, *Capnocytophaga* y *Actinomyces*. *Acinetobacter*, *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Salmonella*, *Klebsiella*, *Yersinia*, *Vibrio*, *Neisseria*, *Moraxella*, *Haemophilus*, *Porphyromonas*, *Helicobacter*, *Campylobacter*, *Fusobacterium*, *Prevotella*, *Tarella*, *Eikenella*, *Burkholderia* y *Stenotrophomonas*, entre otros (Neshani et al., 2019).

Por otro lado, también los péptidos sintéticos han mostrado la capacidad de actuar frente a microorganismos resistentes, como el caso del péptido DP7, que actúa sobre la membrana y la pared celular de las bacterias y posee actividad antimicrobiana de amplio espectro contra cepas clínicas de *S. aureus*, *P. aeruginosa*, *A. baumannii* y *E. coli* resistentes a gentamicina, azitromicina y amoxicilina; los valores de CIM promedio que muestra se ubican entre 4 y 36 mg/l (Wu et al., 2017)the synergistic effects of antimicrobial peptides (AMPs).

Sumado a lo anteriormente descripto, la posibilidad de realizar ingeniería de péptidos es un enfoque poderoso para generar nuevos AMP aún más potentes y/o específicos (Rossi et al., 2008). Un ejemplo de esto es la feromicina, un AMP híbrido formado por el péptido feromonina AgrD1 de *S. aureus*, que es una feromona que atraviesa la pared celular de *S. aureus*, que se fusionó con *colicina*, un AMP catiónico producido por *E. coli*. De este modo, el péptido resultante dirigió la actividad bactericida de la colicina contra *S. aureus* (que no es su objetivo natural) y resultó activo tanto contra cepas sensibles (MSSA) como cepas resistentes (MRSA) a la metilicina. Estudios posteriores añadieron un anticuerpo antiporina A a la molécula, formando ahora la feromonina-NM, con el objeto de secuestrar las porinas liberadas por la lisis de *E. coli* y reducir la respuesta

inflamatoria del hospedero para limitar la sobreexpresión de mediadores proinflamatorios implicados en el daño del tejido celular del huésped (Yang *et al.*, 2020). Estos ejemplos confirman el potencial del desarrollo de nuevos compuestos antibióticos basados en AMP mediante enfoques de ingeniería de péptidos y biología sintética. Aun así, el descubrimiento de nuevos AMP seguirá siendo de gran necesidad, ya que su desarrollo continuará aumentando las posibilidades de descubrir diferentes clases de AMP con otros mecanismos de acción. Además, en la era de la genómica y la metagenómica, el reciente crecimiento en la disponibilidad de secuencias brinda una oportunidad para la predicción *in silico* de nuevos AMP. En este contexto, varios métodos basados en el aprendizaje automático (*machine learning*), a partir de bases de datos metagenómicos, han demostrado una alta precisión en la predicción de AMP (Santos-Júnior *et al.*, 2020).

A pesar del potencial de los AMP y sus derivados, en la actualidad, todavía es poco realista abandonar por completo el uso de antibióticos; sin embargo, una ventaja de los AMP es la posibilidad de su uso combinado con antibióticos tradicionales y complementarse entre sí, para así desempeñar un papel más importante en la reducción de la resistencia a los fármacos (Hollmann *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2019). El fundamento de las terapias combinadas AMP-antibióticos se basa en la evidencia de que el modo de acción de permeabilización de la membrana de la mayoría de los AMP podría facilitar la entrada de antibióticos convencionales con diferentes blancos dentro de la célula bacteriana. En este sentido, se han evaluado exitosamente varias combinaciones sinérgicas de AMP-antibióticos (Hollmann *et al.*, 2018). A modo de ejemplo, en un trabajo reciente se evaluó la viabilidad de usar el AMP P5 diseñado "*de novo*" contra un aislado clínico de *P. aeruginosa* resistente a carbapenem, uno de los patógenos más comunes y riesgosos en la práctica clínica. Los estudios *in vitro* confirmaron la

actividad antimicrobiana sinérgica de P5 con el antibiótico meropenem, mostrando que la combinación no solo era capaz de inhibir el crecimiento sino también mostrar actividad bactericida frente a la bacteria resistente. Por otro lado, este péptido sintético también mostró tener capacidad para inhibir y erradicar biopelículas formadas por *P. aeruginosas* (Martinez *et al.*, 2019) antimicrobial peptides (AMPs).

Por otro lado, se debe tener en cuenta la posibilidad de que esas nuevas drogas no induzcan fácilmente el desarrollo de nuevas resistencias en las bacterias. En este contexto, que la mayoría de los AMP no reconozcan un objetivo específico, como los antibióticos tradicionales, implica que el desarrollo de resistencia contra ellos se produzca en un grado mucho menor, en parte porque las bacterias necesitan realizar un cambio estructural masivo para volverse resistentes (Mahlapuu *et al.*, 2016). Se ha demostrado que la selección de bacterias resistentes contra AMP es un proceso bastante difícil (Fjell *et al.*, 2012) Por otro lado, el tiempo necesario de la mayoría de los AMP para matar a las bacterias es extremadamente rápido en comparación con los antibióticos tradicionales. En este sentido, una cinética de destrucción rápida de bacterias puede reducir también el potencial de adquirir resistencia (Ciumac *et al.*, 2019; Roversi *et al.*, 2014). Sin embargo, como veremos en el apartado siguiente, las bacterias son igualmente capaces de desarrollar algunos mecanismos de resistencia frente a los AMP.

### 2.3 Posibles mecanismos de resistencia frente a los AMP

Como se señaló previamente, el desarrollo de resistencia contra los AMP, si ocurre, se desarrolla en un grado mucho menor

que como ocurre en los antibióticos tradicionales.

Sin embargo, algunos patógenos han desarrollado mecanismos de resistencia intrínsecos o inducibles contra los AMP. Por lo tanto, comprender los mecanismos moleculares de la resistencia bacteriana a los AMP puede proporcionar nuevos objetivos para el diseño de fármacos antibióticos y la terapia antimicrobiana de enfermedades infecciosas humanas. En este contexto, en los últimos años, se han estudiado diferentes estrategias que pueden utilizar las bacterias para volverse resistentes a los AMP (Fig. 4).

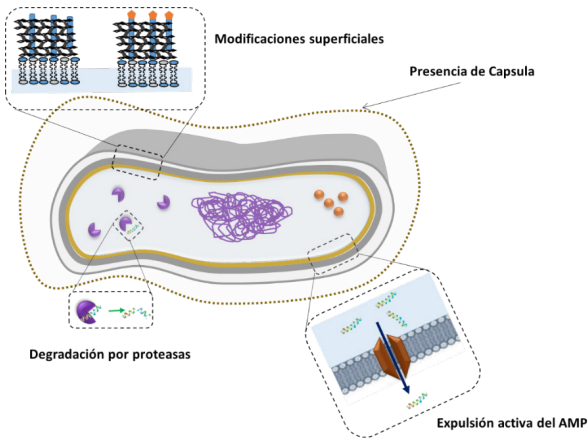


Figura 4. Mecanismos propuestos de resistencia de las bacterias frente a los AMP.

El mecanismo más común de resistencia a los AMP incluye la modificación de la superficie bacteriana mediante la incorporación de moléculas cargadas positivamente, reduciendo la carga aniónica de la superficie, lo que dificulta la capacidad de interacción de los AMP cargados positivamente (An-

dersson, Hughes y Kubicek-Sutherland, 2016) En las bacterias grampositivas, el primer sitio de contacto es la pared celular y los cambios en su estructura representan la primera línea de defensa para neutralizar la actividad de los AMP; entre los mecanismos mejor caracterizados se encuentra la d-alanilación de ácidos teicoicos, también se ha descrito en bacterias grampositivas la modificación de fosfolípidos con l-lisina o l-alanina (Anaya-López, López-Meza y Ochoa-Zarzosa, 2013). Del mismo modo, en las bacterias gramnegativas son los lipopolisacáridos las estructuras más expuestas al medio externo, donde la fracción de lípido A forma la monocapa externa de la membrana externa de la mayoría de las bacterias gramnegativas y es el primer sitio de interacción con los AMP. Así, la carga neta negativa del lípido A puede reducirse por la adición de moléculas, por ejemplo, de fosfoetanolamina y aminoarabinosa (Maturana *et al.*, 2020). También se ha descrito que la acilación del lípido A promueve la resistencia a los AMP, en este caso no por una alteración de la carga expuesta sino por disminución de la fluidez de la membrana externa, lo que evita la inserción del péptido (Anaya-López *et al.*, 2013).

Además de la modificación de la superficie celular, otro método eficaz para resistir los efectos antimicrobianos de los AMP es la degradación proteolítica. En este sentido, las bacterias son capaces de producir proteasas que forman el primer mecanismo de defensa contra los AMP (Abdi, Mirkalantari y Amirzofari, 2019). Este tipo de proteínas se detectó en muchas especies de bacterias como *Staphylococcus*, *Streptococcus* y *Enterococcus* (Abdi, Mirkalantari y Amirzofari, 2019). Otro mecanismo de resistencia a los AMP se logra atrapando o neutralizando el AMP. En este caso, la neutralización de los AMP puede lograrse mediante proteínas de la célula bacteriana o, indirectamente, mediante moléculas de unión a AMP liberadas desde la superficie de la bacteria que limitan la concentración de AMP que llegan a la célula bac-

teriana (Duperthuy, 2020). La producción de una cápsula en la superficie del patógeno *K. pneumoniae* es un ejemplo de este mecanismo, ya que la cápsula, compuesta principalmente por polisacáridos, es aniónica y puede atrapar AMP catiónicos (Duperthuy, 2020). Mecanismos similares se han observado en *Neisseria meningitidis* con resistencia intrínseca a la polimixina B y el AMP LL-37 (Jones et al., 2009).

Finalmente, las bombas de eflujo, al igual que para los antibióticos, también pueden estar involucradas en la resistencia a AMP. Incluso cuando los AMP ya se han adherido o insertado en la membrana, las bacterias pueden eliminarlos utilizando bombas de eflujo (Joo, Fu y Otto, 2016).

Pese a la existencia de diferentes estrategias de resistencia bacteriana frente a los AMP, debido a que la mayoría de los mecanismos descritos son a menudo intrínsecos y relativamente inespecíficos y porque, posiblemente, no están involucrados exclusivamente con la resistencia al AMP, comúnmente confieren niveles moderados de resistencia (Baindara, Ghosh y Mandal, 2020; Abdi, Mirkalantari y Amirmozafari, 2019; Joo, Fu y Otto, 2016). En un estudio más reciente que analizó sistemáticamente la evolución de la resistencia frente a 14 AMP químicamente diversos, también se observó que la frecuencia con la que surge la resistencia a AMP es relativamente baja e incluso, si ocurre, tales cambios genéticos proporcionan solo niveles bajos de resistencia (Spohn et al., 2019).

## 2.4 Citotoxicidad

Una de las principales ventajas de los AMP como potenciales fármacos es su pronunciada selectividad por las células bacterianas sobre las células eucariotas (Wimley, 2010). Debido



a que los AMP generalmente están cargados positivamente, su selectividad celular se debe a la alta afinidad por los componentes lipídicos cargados negativamente de la membrana bacteriana (Haug *et al.*, 2016). Por otro lado, la capa externa de la membrana citoplasmática de las células de mamíferos es neutra y consiste principalmente en fosfolípidos zwitteriónicos y colesterol; este último, se ha sugerido, podría estabilizar aún más las membranas frente a la acción de los AMP (Ebbensgaard *et al.*, 2018) novel antimicrobial compounds are needed. It is desirable to selectively kill pathogenic bacteria without targeting other beneficial bacteria in order to prevent the negative clinical consequences caused by many broad-spectrum antibiotics as well as reducing the development of antibiotic resistance. Antimicrobial peptides (AMPs). Si bien la selectividad celular proporciona a los AMP naturales una ventaja crucial para el hospedador en su papel en la defensa innata, puede convertirse en un desafío mantener un índice terapéutico suficientemente grande sobre las células hospedadoras normales para el diseño de tratamientos terapéuticos basados en AMP (Matsuzaki, 2009). Cabe mencionar que varios AMP naturales y sintéticamente mejorados también muestran la capacidad de alterar las células de mamíferos y ejercer así una toxicidad colateral no deseada, a pesar de la diferencia en la composición de la membrana celular (Haug *et al.*, 2016).

Por lo tanto, un AMP candidato para ser utilizado como fármaco antimicrobiano debe mostrar baja o nula toxicidad hacia las células de mamíferos para avanzar en el proceso clínico. En los últimos años, se ha planteado una preocupación por la falta de una metodología estandarizada para la evaluación de la actividad tóxica y hemolítica de los AMP (Oddo y Hansen, 2017) y sobre cómo, con bastante frecuencia, los datos de toxicidad *in vitro* no se verifican *in vivo*. En la mayoría de los informes bibliográficos sobre nuevos AMP activos, se adoptan diferentes rangos de concentración y ligeras variaciones en los

métodos y, por lo tanto, el grado de hemólisis que se informa como «seguro» varía mucho entre estudios, sin una evaluación real *in vivo*. Esta falta de estudios sistemáticos, que además de la actividad hemolítica incluyan la actividad citotóxica contra diferentes líneas celulares, estudios de rangos de toxicidad en animales y la observación de otros efectos fisiológicos adversos potenciales, continúa siendo una de las mayores barreras para la aplicación de AMP a nivel clínico (Greco *et al.*, 2020).

## 2. 5 Principales dificultades y desafíos para la aplicación de AMP en salud

A pesar de las características ventajosas de los AMP descritas previamente, todavía existen algunos desafíos que dificultan su aplicación. Entre ellos, se destacan los altos costos de producción de este tipo de biomoléculas (Gomes *et al.*, 2018). También, como se mencionó en la sección anterior, es relevante la falta de estudios sistemáticos de su toxicidad potencial, especialmente para los seres humanos. Por otro lado, debe mencionarse la sensibilidad de los AMP a ser degradados luego de ser aplicados debido a la acción de proteasas, o de sufrir modificaciones conformacionales debido a cambios en el pH, especialmente en el caso de la administración oral (Zhu *et al.*, 2017). Estos factores han llevado a que la mayoría de los AMP que actualmente se encuentran aprobados o en estudios clínicos y preclínicos se propongan para aplicaciones tópicas (Chen y Lu, 2020).

Sin embargo, los avances en nanobiotecnología están permitiendo el diseño de nuevas nanoestructuras con AMP que permiten minimizar las características indeseables de estas moléculas. Por ejemplo, se ha reportado que los péptidos en

nanoestructuras presentaron menor citotoxicidad, menor degradación y mayor eficiencia en el objetivo deseado (Biswaro *et al.*, 2018) which present activity against microorganisms. These peptides were discovered over 70 years ago, and are abundant in nature from soil bacteria, insects, amphibians to mammals and plants. They vary in amino acids number, the distance between amino acids within individual peptide structure, net charge, solubility and other physical chemical properties as well as differ in mechanism of action. These peptides may provide an alternative treatment to conventional antibiotics, which encounter resistance such as the peptide nisin applied in treating methicillin resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA. Esto, sumado a la aparición de nuevas estrategias que mejoran la producción a gran escala (Wibowo y Zhao, 2019) y a los avances en metagenómica, permitirá en el mediano plazo acelerar en la fase de descubrimiento y aplicación de los AMP en la clínica.

### 3. Aplicaciones de los AMP en alimentos

La industria de los alimentos busca constantemente ofrecer a sus consumidores productos seguros, confiables y de gran calidad, que mantengan sus características organolépticas y microbiológicas aptas hasta su periodo de caducidad declarado. Un problema que preocupa cada vez más es el perjuicio que ocasionan numerosos microorganismos causantes de la descomposición de los alimentos y, por lo tanto, la disminución de su vida útil. Esto acarrea grandes pérdidas económicas para el sector alimentario que aumentan el interés y la atención de las investigaciones científicas respecto de esta problemática. Por otro lado, las contaminaciones con microorganismos patóge-

nos en los alimentos pueden ser responsables de los brotes de enfermedades, especialmente representan un grave peligro los ocasionados por bacterias; se han reportado una gran cantidad de incidentes de esta naturaleza en los últimos años (León Madrazo y Segura Campos, 2020).

En la industria se aplican innumerables métodos de conservación que dependen del alimento en cuestión, como ser la esterilización, la refrigeración, el envasado al vacío, entre otros. No obstante, debido a las nuevas tendencias de consumo emergentes, que buscan alimentos más saludables que contengan menos aditivos -tales como los conservantes químicos (Gutiérrez, Lemos y Rodríguez, 2017)-, han comenzado a evaluarse nuevos compuestos conservantes de origen natural. En consecuencia, el concepto de bioconservación ha recibido recientemente una mayor atención en respuesta a las demandas de la industria y de los consumidores. Las tecnologías de bioconservación incluyen principalmente AMP (especialmente las bacteriocinas), bacteriófagos, enzimas codificadas por bacteriófagos y endolisinas (Chen, L., Song, Z., Tan, S. Y., Zhang, H. y Yuk, 2020). En particular, para su aplicación en alimentos, se ha propuesto el uso de bacteriocinas y otros péptidos de origen alimentario, considerados seguros, que puedan conservar los alimentos sin alterar su calidad mejorando, de este modo, la seguridad alimentaria (S. Wang *et al.*, 2016; Gálvez *et al.*, 2014)the rapid emergence of multidrug-resistant pathogens has become a global concern, which has prompted the search for alternative antibacterial agents for use in food animals. Antimicrobial peptides (AMPs).

## 1.1 Bacteriocinas

Las bacteriocinas son moléculas peptídicas sintetizadas por el ribosoma de bacterias que ejercen una actividad antagonis-

ta contra grupos de bacterias estrechamente relacionados y no relacionados (Johnson *et al.*, 2018). En particular, las bacteriocinas producidas por las bacterias ácidolácticas (BAL) se consideran buenos agentes bioconservadores debido a sus características de atoxicidad, falta de inmunogenicidad, de termorresistencia y de amplia actividad bactericida (Singh, 2018).

El mecanismo por el que las bacteriocinas son capaces de controlar el crecimiento bacteriano se ha estudiado ampliamente, aunque la mayoría de los estudios pioneros se centraron básicamente en la nisina (Fig. 5), que es la primera bacteriocina producida a partir de BAL. Debido a su carácter catiónico y a sus propiedades hidrofóbicas, la mayoría de estos péptidos funcionan como permeabilizadores de la membrana celular (Chen *et al.*, 2020). Está demostrado que la nisina es muy eficaz contra los microorganismos de deterioro grampositivos y patógenos transmitidos por los alimentos, como *L. monocytogenes* (Singh, 2018).

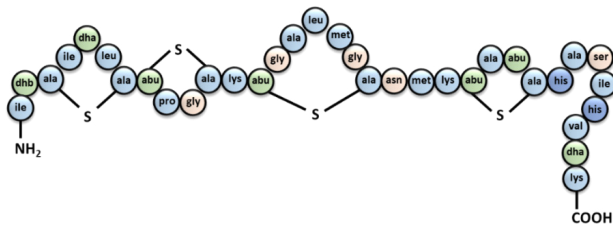


Figura 5. Estructura de la nisina.

Existen distintos métodos que pueden emplearse para que las bacteriocinas lleguen a los alimentos y actúen como bioconservantes. Uno de ellos es la adición del cultivo microbiano productor de bacteriocina a la matriz alimentaria, lo que

permite la producción de las bacteriocinas *in situ* (Vilas *et al.*, 2020; Siroli *et al.*, 2016). Por otra parte, puede cultivarse el microorganismo productor de bacteriocina en condiciones controladas para conseguir un purificado que contenga parcial o exclusivamente este compuesto que se puede aplicar directamente en el alimento (Vilas *et al.*, 2020). En la tabla 3, se pueden observar las características generales de las bacteriocinas.

Origen	– Origen ribosomal; péptidos extracelulares producidos por bacterias grampositivas y gramnegativas.
Efectos	– In vitro: no tóxica para línea celular normal; tóxica para células cancerosas. – In vivo: no estimula el sistema inmune; no tóxico en modelos animales y humanos (se inactivan por proteasas digestivas).
Espectro de acción	– Pueden actuar contra bacterias grampositivas y gramnegativas.
Mecanismo de acción	– Permeabilización de la membrana – Lisis celular
Peso molecular	– Gramnegativas: tamaño muy variable y pueden alcanzar hasta los 80kDa.
	– Grampositivas: por lo general su tamaño es menor a los 10kDa.
	– Arquea: su tamaño puede alcanzar los 20kDa.
Punto isoeléctrico	– De 8,1 a 10,0

Localización de sus genes	– Plásmidos, cromosomas, transposones.
Sensibilidad a enzimas	– Todas son sensibles a las enzimas proteolíticas, tales como la pepsina, tripsina y pronasa.
Sensibilidad a la temperatura	Termoestables: la mayoría soporta 100-121°C durante 15-30min.
Sensibilidad a pH	– La mayoría son estables en el intervalo de pH de 3,0 a 9,0

**Tabla 3.** Descripción de las principales características de las bacteriocinas producidas por BAL. Adaptado de Heredia-Castro *et al.* (2017)

Debido a que las bacteriocinas tienen un gran potencial para la industria alimentaria como antimicrobianos naturales, se han realizado diferentes estudios en los que se buscan nuevas bacteriocinas, o se combinan las ya conocidas, para lograr incrementar su actividad antimicrobiana contra diferentes patógenos (Heredia-Castro *et al.*, 2017). Sin embargo, la producción a gran escala, sumado al espectro de acción limitado de algunas bacteriocinas, aún limitan su aplicación (Bahrami *et al.*, 2019).

### 3.2 Péptidos derivados de alimentos

Las funciones fisicoquímicas de las proteínas en los alimentos, además de servir como nutrientes dietéticos, son cada vez más reconocidas. Muchas de estas funciones fisicoquímicas de las proteínas dietéticas naturales se llevan a cabo mediante secuencias de péptidos encriptadas dentro de la proteína madre, que ejercen sus acciones cuando se liberan, ya sea enzimáticamente, durante el procesamiento de alimentos o por fermentación microbiana (Daliri, Oh y Lee, 2017). Los péptidos bioactivos se definen como secuencias de péptidos dentro de una proteína que ejercen un efecto beneficioso sobre las funciones corporales y/o impactan positivamente en la salud humana, más allá de su valor nutricional conocido. Entre las funciones corporales que pueden regular estos péptidos se encuentran funciones antimicrobianas, es decir, las proteínas alimentarias son también fuentes prometedoras de péptidos antimicrobianos (Ahmed y Hammami, 2019).

Como se mencionó anteriormente, los métodos de producción de estos péptidos son la hidrólisis enzimática y la fermentación microbiana. En el primero, la proteína de interés se somete a un tratamiento enzimático a un pH y temperatura específicos. Las ventajas de este método radican en su fácil escalado y, en general, tiempos de reacción más cortos que la fermentación microbiana (Daliri, Oh y Lee, 2017). Por otro lado, la fermentación implica el cultivo de microorganismos, como levaduras, hongos o bacterias, con la proteína de interés, para hidrolizarla en péptidos más cortos con sus propias enzimas. Las bacterias generalmente necesitan estar en la fase de crecimiento exponencial antes de ser recolectadas, lavadas y agregadas a glucosa que contiene agua destilada estéril, que finalmente sirve como inóculo inicial para el sustrato proteico (Aguilar-Toalá *et al.*, 2017) antioxidant, immunomodulatory, or antimicrobial. El grado de hidrólisis depende del tiempo de



fermentación, la cepa microbiana y la fuente de proteína. Por ejemplo, se han descrito diferentes metodologías para la obtención de este tipo de péptidos a partir de las proteínas de la leche. Entre ellos, la hidrólisis de caseína y  $\kappa$ -caseína (Elbarbary *et al.*, 2012). También la hidrólisis de  $\alpha$  /  $\beta$ -lactoglobulina o la digestión con proteasas (Sibel Akalin, 2014; Clare y Swaisgood, 2000). Recientemente, se han aplicado con éxito hidrolizados de lactoferrina o caseína en alimentos frescos o mínimamente procesados, los que han mostrado reducciones significativas del daño en los alimentos estudiados (Yousuf, Qadri y Srivastava, 2018; Ponce, Roura y Moreira, 2016).

En los últimos años, se han reportado numerosos AMP obtenidos de forma natural o liberados de las proteínas de los alimentos. Estos AMP resultan una alternativa prometedora para satisfacer las demandas de los consumidores de alimentos mínimamente procesados, que buscan alimentos que no posean aditivos químicos que alteren el sabor del alimento, pero que posean una vida útil larga (Théolier *et al.*, 2013). Además, los subproductos alimentarios son una fuente rentable de AMP con alto potencial de aplicación como alternativas a los conservantes antimicrobianos convencionales o como suplementos alimenticios promotores de la salud (Ahmed y Hammami, 2019).

### 3.3 Péptidos aprobados para su uso en alimentos

Si bien los AMP han mostrado actividad antimicrobiana en diferentes condiciones de procesamiento de alimentos y, además, estudios *in situ* han demostrado sus efectos inhibidores en modelos alimentarios, todavía existen preocupaciones sobre la integridad y estabilidad de estas moléculas en los sistemas alimentarios reales. Con el objetivo de solucionar estas cuestiones, se ha estudiado la incorporación de AMP en el envasado de alimentos, para asegurar la entrega de AMP en las superfi-

cies de los alimentos de forma gradual, limitando la exposición directa a sus componentes, lo que podría provocar diferentes reacciones y la formación de nuevos compuestos. La caracterización de las interacciones entre los AMP y los componentes de los alimentos, así como los posibles compuestos recién formados, sigue siendo un desafío en este campo. Se necesitan más estudios para definir las condiciones de uso, como el tipo de alimentos, el nivel de uso propuesto, el rango de temperatura y el método de aplicación, a fin de obtener la aprobación oficial para aplicaciones alimentarias (León Madrazo y Segura Campos, 2020).

Entre los AMP aprobados para su uso en alimentos podemos mencionar los siguientes:

- La nisina es el AMP disponible comercialmente más importante, el cual está aprobado como conservante de alimentos. Es producido por *Lactococcus lactis* subsp. *lactis* y ha sido declarado por la Administración de Drogas y Alimentos (FDA<sup>9</sup>) como un compuesto seguro para su uso alimentario GRAS (por sus siglas en inglés **Generally recognized as safe**). La nisina se aplica como conservante de alimentos seguro y natural en más de 50 países y se puede utilizar para conservar queso procesado, productos lácteos pasteurizados y verduras enlatadas. Se han informado aplicaciones más recientes de nisina en productos con alto contenido de humedad, productos de harina horneados en caliente y huevos líquidos pasteurizados (Hwanhlem *et al.*, 2017). En el caso de Argentina, la nisina ha sido aprobada para su uso en alimentos a partir de un brote de botulismo en el año 1974, y es actualmente la única bacteriocina aprobada dentro del Código Alimentario Argentino para su utilización como conservador en diversos productos lácteos (Sobol *et al.*, 2018).

9 FDA, Food and Drug Administration.

- La  $\epsilon$ -polilisina es un AMP catiónico producido por *Streptomyces albulus* y está compuesto por 25–35 L-lisina unida a través de sus grupos carboxilo y  $\epsilon$ -amino en lugar de un enlace peptídico convencional. La  $\epsilon$ -polilisina tiene un amplio espectro de actividad antibacteriana y tiene un efecto letal sobre bacterias grampositivas y gramnegativas, levaduras, mohos y virus. Demuestra buen efecto antibacteriano frente a *E. coli* y *Salmonella*, patógenos difíciles de controlar con otros conservantes naturales. La  $\epsilon$ -polilisina se ha utilizado generalmente como aditivo alimentario en Japón y Corea. En los Estados Unidos, la FDA lo ha reconocido como material GRAS (Luz *et al.*, 2018).

- La pediocina PA-1 es otra bacteriocina que se utiliza como conservante de alimentos. Está compuesta por 44 aminoácidos y es producido por *Pediococcus acidilactici*. La pediocina PA-1 se comercializa con el nombre ALTA™ 2431. Este AMP se ha utilizado para mejorar la vida útil de los alimentos, principalmente en productos cárnicos listos para el consumo, en los que muestra actividad antimicrobiana contra *L. monocytogenes* (Santos *et al.*, 2018).

## Conclusiones generales

Los AMP son péptidos de diferente origen, capaces de controlar el crecimiento de numerosos microorganismos. En este contexto, representan una valiosa herramienta con diferentes aplicaciones en el área de la salud y en la industria alimentaria.

El alarmante aumento de infecciones bacterianas resistentes a los antibióticos es una grave amenaza para los seres humanos y los animales en todo el mundo. En este aspecto, los AMP, debido a su actividad bactericida rápida y específica con-

tra los patógenos incluyendo aquellos resistentes, prometen ser una nueva fuente de compuestos capaces de reemplazar o complementar a los antibióticos tradicionales. Si bien los estudios para ampliar nuestra comprensión detallada sobre cómo funcionan los AMP en entornos médicos, cómo se lleva a cabo su modo de acción, toxicidad e inmunogenicidad en humanos, aún son escasos, varias investigaciones recientes han mostrado resultados prometedores. Sumado a esto, la posibilidad de combinar AMP con antibióticos tradicionales representa también una estrategia prometedora para desarrollar nuevos tratamientos frente a las bacterias resistentes. Asimismo, el descubrimiento de nuevos AMP y el diseño de nuevos péptidos mediante los avances en biología sintética también promete ampliar las opciones de AMP altamente activos y estables.

Por otro lado, la posibilidad de obtener AMP de fuentes naturales consideradas seguras para la industria alimentaria, como las bacteriocinas producidas por BAL o los péptidos obtenidos de proteínas alimentarias, representan una prometedora alternativa para la conservación de alimentos, con la consecuente reducción o eliminación del uso de aditivos químicos. Si bien todavía, en muchos casos, aún se requieren mayores estudios sobre la eficiencia y posibilidad de escalado de los diferentes AMP propuestos directamente en las matrices alimentarias, algunos ejemplos como el de la nisina demuestran el claro potencial de estas moléculas.

## Bibliografía

- Abdi, Milad; Mirkalantari, Shiva y Amirmozafari, Nour (2019). "Bacterial Resistance to Antimicrobial Peptides". *Journal of Peptide Science*. 25 (11), p. e3210.
- Abushaheen, Manar Ali; Muzaaheed, Amal Jamil Fatani; Mohammed Alosaimi, Wael Mansy; Merin George, Sadananda Acharya, et al. (2020). "Antimicrobial Resistance, Mechanisms and Its Clinical Significance". *Disease-a-Month*. 66 (6), p. 100971
- Aguilar-Toalá, J. E., L. Santiago-López, C. M. Peres, C. Peres, H. S. Garcia, B. Vallejo-Cordoba, A. F. González-Córdova y A. Hernández-Mendoza. 2017. "Assessment of Multifunctional Activity of Bioactive Peptides Derived from Fermented Milk by Specific *Lactobacillus Plantarum* Strains". *Journal of Dairy Science*. 100 (1), pp. 65–75.
- Ahmed, Tamer; Hammami, Riadh (2019). "Recent Insights into Structure-Function Relationships of Antimicrobial Peptides". *Journal of Food Biochemistry*. 43 (1), p. e12546.
- Anaya-López, José Luis; López-Meza, Joel Edmundo y Ochoa-Zarzosa, Alejandra (2013). "Bacterial Resistance to Cationic Antimicrobial Peptides". *Critical Reviews in Microbiology*. 39 (2), pp. 180–195.
- Andersson, Dan; Hughes, Diarmaid; Kubicek-Sutherland, Jessica Z. (2016). "Mechanisms and Consequences of Bacterial Resistance to Antimicrobial Peptides". *Drug Resistance Updates*. 26, pp. 43-57.
- Aruković, Emina; Fetahović, Dina y Pehlivanović, Belma (2019). "Impact of Antibiotic Misuse on Genetics Alterations of Bacteria". In *International Conference on Medical and Biological Engineering* (pp. 617–621). Springer.
- Bahrami, Akbar; Delshadi, Rana; Jafari Seid Mahdi y Williams, Leonard (2019). "Nanoencapsulated Nisin: An Engineered Natural Antimicrobial System for the Food Industry." *Trends in Food Science and Technology*. 94, pp. 20-31
- Baindara, Piyush; Ghosh Ananta K. y Mandal, Santi M (2020).

- "Coevolution of Resistance against Antimicrobial Peptides." *Microbial Drug Resistance*. 26 (8), pp. 880–899.
- Biswaro, Lubhandwa S.; da Costa Sousa, Mauricio G.; Rezende, Taia M.B.; Dias Simoni C., and Franco, Octavio L (2018). "Antimicrobial Peptides and Nanotechnology, Recent Advances and Challenges." *Frontiers in Microbiology*. 9, p855.
- Cacciatore, Fabiola Ayres; Brandelli Adriano; da Silva Malheiros, Patrícia (2020). "Combining Natural Antimicrobials and Nanotechnology for Disinfecting Food Surfaces and Control Microbial Biofilm Formation." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2020 pp 1-12.
- Cardoso, Marlon H.; Orozco, Raquel Q.; Rezende, Samilla B., Rodrigues, Gisele; Oshiro, Karen G.N.; Cândido, Elizabete S.; Franco, Octávio L (2020). "Computer-Aided Design of Antimicrobial Peptides: Are We Generating Effective Drug Candidates?" *Frontiers in Microbiology*. 10, p. 3097
- Cardoso, Marlon H., Ribeiro, Suzana M.; Nolasco, Diego O., De La Fuente-Núñez César; Felício, Mário R.; Gonçalves, Sônia, Matos, Carolina O., et al. (2016). "A Polyalanine Peptide Derived from Polar Fish with Anti-Infectious Activities." *Scientific Reports*. 6 (1), pp 1–15.
- Chen, Lin; Song, Zhixuan; Tan, Shao. Y.; Zhang, Hongfei; Yuk, Hyun-Gyun (2020). "Application of Bacteriocins Produced from Lactic Acid Bacteria for Microbiological Food Safety." *Current Topics in Lactic Acid Bacteria and Probiotics*. 6 (1) pp. 1–8.
- Chen, Charles H.; Lu, Timothy (2020). "Development and Challenges of Antimicrobial Peptides for Therapeutic Applications." *Antibiotics*. 9 (1), p. 24.
- Chen, Guang; Wu, Di; Guo, Wei; Cao, Yong; Huang, Da; Wang, Hongwu; Wang, Tao; et al. (2020). "Clinical and Immunological Features of Severe and Moderate Coronavirus Disease 2019." *Journal of Clinical Investigation*. 130 (5), pp. 2620-2629.
- Christaki, Eirini; Marcou, Markella; Tofarides, Andreas (2020). "Antimicrobial Resistance in Bacteria: Mechanisms, Evo-

- lution, and Persistence." *Journal of Molecular Evolution*. 88(1), pp. 26-40.
- Ciumac, Daniela, Gong, Haoning; Hu, Xuzhi; Lu, Jian Ren (2019). "Membrane Targeting Cationic Antimicrobial Peptides." *Journal of Colloid and Interface Science*. 537, pp. 163-185.
- Clancy, Cornelius J; Nguyen, Hong M (2020). "COVID-19, Superinfections and Antimicrobial Development: What Can We Expect?" *Clinical Infectious Diseases*. 71(10), pp. 2736-2743
- Clare, Debra. A; Swaisgood Harold E. (2000). "Bioactive Milk Peptides: A Prospectus." *Journal of Dairy Science*. 83 (6), pp. 1187-1195.
- Daliri, Eric; Oh, Deog; Lee, Byong (2017). "Bioactive Peptides." *Foods*. 6 (5), p. 32.
- Duperthuy, Marylise (2020). "Antimicrobial Peptides: Virulence and Resistance Modulation in Gram-Negative Bacteria." *Microorganisms*. 8(2), p. 280.
- Ebbensgaard, Anna; Mordhorst, Hanne; Overgaard, Michael Toft; Møller Aarestrup, Frank; Bech Hansen, Egon (2018). "Dissection of the Antimicrobial and Hemolytic Activity of Cap18: Generation of Cap18 Derivatives with Enhanced Specificity." *PLoS ONE*. 13(5), p. e0197742
- Ebenhan, Thomas; Gheysens, Olivier; Kruger, Hendrick Gert; Zeevaart, Jan Rijn; Machaba Sathekge, Mike (2014). "Antimicrobial Peptides: Their Role as Infection-Selective Tracers for Molecular Imaging." *BioMed Research International*. 2014, p. 867381
- Elbarbary, Hend A.; Abdou, Adham M.; Nakamura, Yasushi; Park, Eun Young; Mohamed, Hamdi A.; Sato, Kenji (2012). "Identification of Novel Antibacterial Peptides Isolated from a Commercially Available Casein Hydrolysate by Autofocusing Technique." *BioFactors*. 38 (4), pp. 309-315.
- Fjell, Christopher D.; Hiss, Jan A.; Hancock, Robert E.W.; Schneider, Gisbert (2012). "Designing Antimicrobial Peptides: Form Follows Function." *Nature Reviews Drug Discovery*. 11(1), pp. 37-51.

- Gálvez, Antonio; Lucas López, Rosario; Pérez Pulido, Rubén; Grande Burgos, María José (2014). "Natural Antimicrobials for Food Biopreservation." In *Food Biopreservation, SpringerBriefs in Food, Health, and Nutrition*, 3–14. Springer, New York, NY.
- Giuliani, Andrea; Rinaldi, Andrea C (2010). "Antimicrobial Peptides." *Methods Protocol*. 618, pp. 125–420.
- Gomes, Bárbara; Augusto, Marcelo T.; Felício, Mário R.; Hollmann, Axel; Franco, Octávio L.; Gonçalves, Sónia; Santos, Nuno C. (2018). "Designing Improved Active Peptides for Therapeutic Approaches against Infectious Diseases." *Biotechnology Advances*. 36 (2) pp. 415–429.
- Greco, Ines; Molchanova, Natalia; Holmedal, Elin, Jenssen, Håvard; Hummel, Bernard D.; Watts, Jeffrey L.; Håkansson, Joakim; Hansen, Paul R.; Svenson, Johan (2020). "Correlation between Hemolytic Activity, Cytotoxicity and Systemic in Vivo Toxicity of Synthetic Antimicrobial Peptides." *Scientific Reports*. 10(1), pp. 1-13.
- Gutierrez, Diego Ricardo; Lemos, Maria Laura, Rodriguez, Silvia del Carmen (2017). "Efecto Combinado de UV-C y Envasado Con Atmósfera Modificada Pasiva En La Conservación de Rúcula (Eruca Sativa) Cortada IV Gama." *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha*. 18(2), pp.145-152
- Hale, John D.F.; Hancock, Robert E.W. (2007). "Alternative Mechanisms of Action of Cationic Antimicrobial Peptides on Bacteria." *Expert Review of Anti-Infective Therapy*. 5 (6), pp. 951–59.
- Hancock, Robert (2000). "Cationic Antimicrobial Peptides: Towards Clinical Applications." *Expert Opinion on Investigational Drugs*. 9(8), pp. 1723-1729
- Hancock, Robert (2001). "Cationic Peptides: Effectors in Innate Immunity and Novel Antimicrobials." *Lancet Infectious Diseases*. 1(3), pp. 156-164.
- Harder, J.; Schröder, J. M. (Eds.) (2015). "Antimicrobial peptides: role in human health and disease". Springer.
- Haug, Bengt Erik; Camilio, Ketil André; Eliassen, Liv Tone;



- Stensen Wenche; Svendsen, John Sigurd; Berg, Kristel; Mortensen, Bjarte, et al. (2016). "Discovery of a 9-Mer Cationic Peptide (LTX-315) as a Potential First in Class Oncolytic Peptide." *Journal of Medicinal Chemistry*. 59 (7), pp. 2918–2927
- Heredia-Castro, Priscilia Y.; Hernández-Mendoza Adrian; González-Córdova, Aarón F.; Vallejo-Cordoba Belinda (2017). "Bacteriocinas de Bacterias Ácido Lácticas: Mecanismos de Acción y Actividad Antimicrobiana Contra Patógenos En Quesos." *Interciencia* 42 (6), pp. 340–46.
- Hollmann, Axel; Martinez Melina; Maturana Patricia; Semorile, Liliana C.; Maffia, Paulo C. (2018). "Antimicrobial Peptides: Interaction with Model and Biological Membranes and Synergism with Chemical Antibiotics." *Frontiers in Chemistry*. 2018, pp. 1–13.
- Hwanhlem, Noraphat; Ivanova, Teodora; Haertlé, Thomas, Jaffrès; Emmanuel; Dousset, Xavier (2017). "Inhibition of Food-Spoilage and Foodborne Pathogenic Bacteria by a Nisin Z-Producing *Lactococcus Lactis* Subsp. *Lactis* KT2W2L." *LWT - Food Science and Technology*. 82, pp. 170–175.
- Irazabal, Luz N.; Porto, William F.; Fensterseifer, Isabel C.M.; Alves, Eliane S.F.; Matos, Carolina O.; Menezes, Antônio C.S.; Felício, Mário R., et al. (2019). "Fast and Potent Bactericidal Membrane Lytic Activity of PaDBS1R1, a Novel Cationic Antimicrobial Peptide." *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*. 1861 (1), pp. 178–190.
- Jayakumar, J.; Kumar V.A.; Biswas, L.; Biswas, R (2021). "Therapeutic Applications of Lysostaphin against *Staphylococcus aureus*." *Journal of Applied Microbiology*, 113 (3), pp. 1072-1082.
- Johnson, Eldin. M.; Jung, Yong-Gyun; Jin, Ying-Yu; Jayabalan, Rasu; Yang Seung; Suh, Joo (2018). "Bacteriocins as Food Preservatives: Challenges and Emerging Horizons." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58 (16), pp. 2743–67.
- Jones, Allison; Geörg, Miriam, Maudsdotter, Lisa; Jonsson, Ann-Beth (2009). "Endotoxin, Capsule, and Bacterial At-

- tachment Contribute to Neisseria Meningitidis Resistance to the Human Antimicrobial Peptide LL-37." *Journal of Bacteriology*. 191 (12), pp. 3861–3868.
- Joo, Hwang Soo; Fu, Chih lung; Otto, Michael (2016). "Bacterial Strategies of Resistance to Antimicrobial Peptides." *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 371 (1695), p. 20150292.
- Kang, Xinyue; Dong, Fanyi; Shi, Cheng; Liu, Shicai; Sun, Jian; Chen, Jiaxin; Li, Haiqi; Xu, Hanmei; Lao, Xingzhen; Zheng, Heng (2019). "DRAMP 2.0, an Updated Data Repository of Antimicrobial Peptides." *Scientific Data*. 6 (1), p. 148.
- Krauson, Aram J. (2011). "Mechanisms of Pore Formation in Membranes." Tesis Doctoral, Tulane University.
- Kumar, Prashant; Kizhakkedathu Jayachandran N.; Straus Suzana K. (2018) "Antimicrobial Peptides: Diversity, Mechanism of Action and Strategies to Improve the Activity and Biocompatibility in Vivo." *Biomolecules*. 8(1), 4.
- León Madrazo, Anaí; Segura Campos, Maira Rubi (2020). "Review of Antimicrobial Peptides as Promoters of Food Safety: Limitations and Possibilities within the Food Industry." *Journal of Food Safety*. 40(6), p. e12854.
- Li, Shuqin; Wang, Yajie; Xue, Zihan; Jia, Yanan; Li, Ruilin; He, Chengwei; Chen, Haixia (2021). "The Structure-Mechanism Relationship and Mode of Actions of Antimicrobial Peptides: A Review." *Trends in Food Science and Technology*. 109, pp. 103-115
- Luz, C.; Calpe, J.; Saladino, F.; Luciano, F.B.; Fernandez-Franzón, M.; Mañes, J.; Meca, G, (2018). "Antimicrobial Packaging Based on  $\epsilon$ -Polylysine Bioactive Film for the Control of Mycotoxigenic Fungi in Vitro and in Bread." *Journal of Food Processing and Preservation*. 42 (1), p. e13370.
- Magana, Maria; Pushpanathan, Muthuirulan; Santos, Ana L.; Leanse, Leon; Fernandez, Michael; Ioannidis, Anastasios; Giulianotti, Marc A., et al. (2020). "The Value of Antimicrobial Peptides in the Age of Resistance." *The Lancet Infectious Diseases*. 20(9), pp. 216-230.

- Mahlapuu, Margit; Håkansson, Joakim; Ringstad, Lovisa; Björn, Camilla (2016). "Antimicrobial Peptides: An Emerging Category of Therapeutic Agents." *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 6, p. 194
- Malmsten, Martin. (2015). "Interactions of Antimicrobial Peptides with Bacterial Membranes and Membrane Components." *Current Topics in Medicinal Chemistry*. 16(1), pp. 16-24.
- Martinez, Melina; Gonçalves, Sónia; Felício, Mário R.; Maturana, Patricia; Santos Nuno C.; Semorile, Liliana; Hollmann, Axel; Maffia Paulo C. (2019). "Synergistic and Antibiofilm Activity of the Antimicrobial Peptide P5 against Carbapenem-Resistant *Pseudomonas Aeruginosa*." *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes* 1861 (7), pp. 1329–37.
- Matsuzaki, Katsumi (2009). "Control of Cell Selectivity of Antimicrobial Peptides." *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*. 1788(8), pp. 1687-1692.
- Maturana, Patricia; Gonçalves, Sónia; Martinez, Melina; Espeche, Juan C.; Santos, Nuno C.; Semorile, Liliana; Maffia, Paulo C.; Hollmann, Axel (2020). "Interactions of 'de Novo' Designed Peptides with Bacterial Membranes: Implications in the Antimicrobial Activity." *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes* 1862 (11), p. 183443.
- Maturana, Patricia; Martinez, Melina; Faccone, Diego; Semorile, Liliana; Maffia, Paulo C.; Hollmann, Axel (2020). "New Insights into Novel *Escherichia Coli* Colistin-Resistant Strains Isolated from Argentina." *European Biophysics Journal*. 49 (3–4): pp. 307–313.
- Meneguetti, Beatriz T.; dos Santos Machado, Leandro; Oshiro, Karen G.N; Nogueira, Micaella L.; Carvalho, Cristiano M.E.; Franco Octávio L. (2017). "Antimicrobial Peptides from Fruits and Their Potential Use as Biotechnological Tools—a Review and Outlook." *Frontiers in Microbiology*. 7, p. 2136.
- Migliolo, Ludovico; Felício, Mário R.; Cardoso Marlon H.; Silva Osmar N.; Xavier, Mary Ann E.; Nolasco, Diego O.; Silva De Oliveira, Adelianna, et al. (2016). "Structural and Function-

- al Evaluation of the Palindromic Alanine-Rich Antimicrobial Peptide Pa-MAP2." *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*. 1858 (7), pp. 1488–1498.
- Murray, Aimee K. (2020). "The Novel Coronavirus COVID-19 Outbreak: Global Implications for Antimicrobial Resistance." *Frontiers in Microbiology*. 11, p. 1020
- National Committee for Clinical Laboratory Standards, NCCLS. (2015). "M02-A12: Performance Standards for Antimicrobial Disk Susceptibility Tests; Approved Standard—Twelfth Edition." *Clinical and Laboratory Standards Institute* 35 (M02-A12).
- Neshani, Alireza; Zare, Hosna; Akbari Eidgahi, Mohammad Reza; Kakhki, Reza Kamali; Safdari, Hadi; Khaledi, Azad; Ghazvini, Kiarash (2019). "LL-37: Review of Antimicrobial Profile against Sensitive and Antibiotic-Resistant Human Bacterial Pathogens." *Gene Reports*. 17, p. 100519.
- Oddo, Alberto; Hansen Paul R. (2017). "Hemolytic Activity of Antimicrobial Peptides." In *Methods in Molecular Biology*. 1548, pp. 427–435.
- Pachay Solórzano, Jorge Washington (2018). "Las Infecciones Bacterianas y Su Resistencia a Los Antibióticos. Caso de Estudio: Hospital Oncológico 'Dr. Julio Villacreses Colmont Solca', Portoviejo." *Revista Universidad y Sociedad*. 10 (5), pp. 219–223.
- Piper, Clare; Draper, Lorraine A.; Cotter, Paul D.; Ross, Paul R.; Hill, Colin (2009). "A Comparison of the Activities of Lacticin 3147 and Nisin against Drug-Resistant *Staphylococcus aureus* and *Enterococcus* Species." *Journal of Antimicrobial Chemotherapy*. 64 (3), pp. 546–551.
- Ponce, Alejandra; Roura, Sara ines; Moreira Maria R. (2016). "Casein and Chitosan Polymers: Use in Antimicrobial Packaging." *Antimicrobial Food Packaging*. pp. 455–466.
- Prestinaci, Francesca; Pezzotti, Patrizio; Pantosti Annalisa (2015). "Antimicrobial Resistance: A Global Multifaceted Phenomenon." *Pathogens and Global Health*. 109(7), pp. 309-318

- Rawson, Timothy M.; Ming, Damien; Ahmad, Raheelah; Moore, Luke S.P.; Holmes, Alison H. (2020). "Antimicrobial Use, Drug-Resistant Infections and COVID-19." *Nature Reviews Microbiology*. 18(8), pp. 409-410
- Rogers, L. A.; Whittier, E. O. (1928). "Limiting Factors in the Lactic Fermentation." *Journal of Bacteriology*. 16(4), pp. 211–229.
- Rossi, Lisa M.; Rangasamy, Priya; Zhang, Jie; Qiu, Xiao Qing; Wu, George Y. (2008). "Research Advances in the Development of Peptide Antibiotics." *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 97(3), pp. 1060-1070.
- Roversi, Daniela; Luca, Vincenzo; Aureli, Simone; Park, Yoonkyung; Mangoni, Maria Luisa; Stella, Lorenzo (2014). "How Many Antimicrobial Peptide Molecules Kill a Bacterium? The Case of PMAP-23." *ACS Chemical Biology*. 9(9), pp. 2003–2007.
- Santarelli, Gino Angelo; Migliorati, Giacomo; Pomilio, Francesco; Marfoggia, Cristina; Centorame, Patrizia; D'Agostino, Antonella; D'Aurelio, Roberta, et al. (2018). "Assessment of Pesticide Residues and Microbial Contamination in Raw Leafy Green Vegetables Marketed in Italy." *Food Control*. 85, pp. 350–358.
- Santos-Júnior, Célio Dias; Pan, Shaojun; Zhao, Xing Ming; Coelho, Luis Pedro (2020). "Macrel: Antimicrobial Peptide Screening in Genomes and Metagenomes." *PeerJ*. 8 p. e10555.
- Santos, Johnson C.P.; Sousa, Rita C.S.; Otoni, Caio G.; Moraes, Allan R.F.; Souza, Victor G.L.; Medeiros, Eber A.A.; Espitia, Paula J.P.; Pires, Ana C.S.; Coimbra, Jane S.R.; Soares, Nilda F.F. (2018). "Nisin and Other Antimicrobial Peptides: Production, Mechanisms of Action, and Application in Active Food Packaging." *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 48, pp. 179-194.
- Sibel Akalin, A. (2014). "Dairy-Derived Antimicrobial Peptides: Action Mechanisms, Pharmaceutical Uses and Production Proposals." *Trends in Food Science and Technology* 36 (2),

- pp. 79–95.
- Singh, Veer. Pal (2018). "Recent Approaches in Food Bio-Preservation—a Review." *Open Vet J* 8. pp. 104–111.
- Siroli, Lorenzo; Patrignani, Francesca; Serrazanetti, Diana. I.; Vannini, Lucia; Salvetti, Elisa; Torriani, Sandra; Gardini, Fauso; Lanciotti, Rosalba (2016). "Use of a Nisin-Producing Lactococcus Lactis Strain, Combined with Natural Antimicrobials, to Improve the Safety and Shelf-Life of Minimally Processed Sliced Apples." *Food Microbiology*. 54, pp. 11–19.
- Smith, Leif; Hillman, J.D. (2008). "Therapeutic Potential of Type A (I) Lantibiotics, a Group of Cationic Peptide Antibiotics." *Current Opinion in Microbiology*. 11 (5), pp. 401–408.
- Sobol, Ricardo A.; Raffellini Soubies, Silvia; Berges, Verónica (2018). "Nisina En Productos Cárnicos Para Inhibición de Listeria Monocytogenes." *La Alimentación Latinoamericana*. 339, pp. 50–58.
- Spohn, Réka; Daruka, Lejla; Lázár, Viktória; Martins, Ana; Vidovics, Fanni; Grézal, Gábor; Méhi, Orsolya; et al. (2019). "Integrated Evolutionary Analysis Reveals Antimicrobial Peptides with Limited Resistance." *Nature Communications*. 10 (1), pp. 1–13.
- Teixeira, Vitor; Feio, Maria J.; Bastos, Margarida (2012). "Role of Lipids in the Interaction of Antimicrobial Peptides with Membranes." *Progress in Lipid Research*. 51 (2), pp. 149–177.
- Théolier, Jérémie; Hammami, Riadh; Labelle, Philip; Fliss, Ismail; Jean, Julie (2013). "Isolation and Identification of Antimicrobial Peptides Derived by Peptic Cleavage of Whey Protein Isolate." *Journal of Functional Foods*. 5 (2), pp. 706–714.
- Torres, Marcelo D.T.; Sothiselvam, Shanmugapriya; Lu, Timothy K.; de la Fuente-Nunez, Cesar (2019). "Peptide Design Principles for Antimicrobial Applications." *Journal of Molecular Biology*. 431(18), pp. 3547–3567.
- Vilas, Isabel A.; Seró, Maria; Colás Medà, Pilar; Collazo Cordero, Cyrellys; Viñas, Almenar, Inmaculada (2020). "Bioconservación Frente a Patógenos de Transmisión Alimentaria En Frutas y Hortalizas Mínimamente Procesadas." *Arbor*. 196 (795),

pp. 1-11.

- Waghu, Faiza Hanif; Barai, Ram Shankar; Gurung, Pratima; Idicula-Thomas, Susan (2016). "CAMPR3: A Database on Sequences, Structures and Signatures of Antimicrobial Peptides." *Nucleic Acids Research*. 44 (D1), pp. 1094–1097.
- Wang, Jiajun; Dou, Xiujing; Song, Jing; Lyu, Yinfeng; Zhu, Xin; Xu, Lin; Li, Weizhong; Shan, Anshan (2019). "Antimicrobial Peptides: Promising Alternatives in the Post Feeding Antibiotic Era." *Medicinal Research Reviews*. 39(3), pp. 831-859.
- Wang, Shuai; Zeng, Xiangfang; Yang, Qing; Qiao, Shiyan (2016). "Antimicrobial Peptides as Potential Alternatives to Antibiotics in Food Animal Industry." *International Journal of Molecular Sciences*. 17 (5), p. 603.
- Wang, Zhongliang; Yang, Bohan; Li, Qianwen; Wen, Lu; Zhang, Ruiguang (2020). "Clinical Features of 69 Cases with Coronavirus Disease 2019 in Wuhan, China." *Clinical Infectious Diseases*. 71(15), pp. 769-777.
- Waterer, Grant; Wunderink Richard (2001). "Increasing Threat of Gram-Negative Bacteria." *Critical Care Medicine*. 29(4), pp. 75-81
- Wibowo, David; Zhao, Chun Xia. (2019). "Recent Achievements and Perspectives for Large-Scale Recombinant Production of Antimicrobial Peptides." *Applied Microbiology and Biotechnology*. 103(2), pp. 659-671.
- Wimley, William C. (2010). "Describing the Mechanism of Antimicrobial Peptide Action with the Interfacial Activity Model." *ACS Chemical Biology*. 5(10), pp. 905-917.
- Wu, Xiaozhe; Li, Zhan; Li, Xiaolu; Tian, Yaomei; Fan, Yingzi; Yu, Chaoheng; Zhou, Bailing; Liu, Yi; Xiang, Rong; Yang, Li (2017). "Synergistic Effects of Antimicrobial Peptide DP7 Combined with Antibiotics against Multidrug-Resistant Bacteria." *Drug Design, Development and Therapy*. 11, pp. 939–46.
- Yang, Guiyan; Yue, Yuan; Li, Dan; Duan, Cong; Qiu, Xiaoqing; Zou, Yunjing; Zhu, Yaohong; Lauridsen, Charlotte; Wang, Jiu-feng (2020). "Antibacterial and Immunomodulatory Effects

- of Pheromonicin-NM on Escherichia Coli-Challenged Bovine Mammary Epithelial Cells." *International Immunopharmacology*. 84, p. 106569
- Yoon, Jae Hyun; Lee, Sun Young (2018). "Review: Comparison of the Effectiveness of Decontaminating Strategies for Fresh Fruits and Vegetables and Related Limitations." *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 58(18), pp. 3189–3208
- Yousuf, Basharat; Qadri, Ovais Shafiq; Srivastava, Abhaya Kumar (2018). "Recent Developments in Shelf-Life Extension of Fresh-Cut Fruits and Vegetables by Application of Different Edible Coatings: A Review." *LWT - Food Science and Technology*. 89, pp. 198–209.
- Zasloff, Michael (2002). "Antimicrobial Peptides of Multicellular Organisms." *Nature*. 415 (6870), pp. 389–395.
- Zhang, Lijuan; Scott, Monisha G.; Yan, Hong; Mayer, Lawrence D.; Hancock, Robert E.W. (2000). "Interaction of Polyphemus I and Structural Analogs with Bacterial Membranes, Lipopolysaccharide, and Lipid Monolayers." *Biochemistry*. 39(47), pp. 14504–14514
- Zhao, Tong; Doyle, Michael P.; Harmon, Barry G.; Brown, Cathy A.; Mueller, Eric; Parks, Andrew H. (1998). "Reduction of Carriage of Enterohemorrhagic Escherichia Coli O157:H7 in Cattle by Inoculation with Probiotic Bacteria." *Journal of Clinical Microbiology*. 36 (3), pp. 641–647.
- Zhao, Xiaowei; Wu, Hongyu; Lu, Hairong; Li, Guodong; Huang, Qingshan (2013). "LAMP: A Database Linking Antimicrobial Peptides." *PLoS ONE* 8 (6), p. e66557.
- Zhou, Peng; Yang, Xing Lou; Wang, Xian Guang; Hu, Ben; Zhang, Lei; Zhang, Wei; Si, Hao Rui; et al. (2020). "A Pneumonia Outbreak Associated with a New Coronavirus of Probable Bat Origin." *Nature*. 579(7798), pp. 270–273.
- Zhu, Meng; Liu, Peng; Niu, Zhong Wei (2017). "A Perspective on General Direction and Challenges Facing Antimicrobial Peptides." *Chinese Chemical Letters*. 28 (4), pp. 703–708.



# ROL DE LOS FACTORES DE CRECIMIENTO GDF9, BMP15 Y FGF2 EN LA FOLICULOGÉNESIS Y SU IMPORTANCIA EN LA PRODUCCIÓN BOVINA

PABLO SEBASTIÁN REINER<sup>1</sup>; GUSTAVO ADOLFO PALMA<sup>2</sup>;  
MARÍA SUMAMPA CORIA<sup>3</sup>; SANTIAGO CALLEJAS<sup>4</sup>

1 Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Estación Experimental Agropecuaria Santiago del Estero. Laboratorio de Producción y Reproducción Animal. Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Magíster en Reproducción Bovina.

2 Laboratorio de Producción y Reproducción Animal. Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Doctor en Medicina Veterinaria (Director).

3 Laboratorio de Producción y Reproducción Animal. Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). Doctora en Ciencias Biológicas.

4 Área de Reproducción del Centro de Investigación Veterinaria (CIVETAN). Facultad de Ciencias Veterinarias. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires (UNCPBA). Doctor en Ciencias Veterinarias.

## Resumen

La foliculogénesis, la madurez de los ovocitos, la ovulación, la fertilización, el desarrollo embrionario, la implantación y el establecimiento de la gestación son períodos críticos en la función reproductiva de las hembras bovinas. En esta revisión, se describe el rol de tres factores de crecimiento en la función ovárica y en el desarrollo embrionario; estos son el factor de diferenciación del crecimiento (GDF9), la proteína morfogenética ósea (BMP15) y el factor de crecimiento fibroblástico básico (FGF2). El ovocito de los folículos primarios secreta GDF9, BMP15 y FGF2, que, en conjunto, organizan las células de la granulosa y teca circundantes en el complejo cúmulo-ovocito; esto genera un diálogo autocrino-paracrino entre el ovocito y las células somáticas contiguas, a lo largo del desarrollo folicular, el cual es fundamental para establecer un ovocito competente que pueda completar la meiosis, experimentar fertilización, embriogénesis y desarrollo a término. Esta revisión argumenta que una comprensión más profunda de la biología de GDF9, BMP15 y FGF2 conducirá a nuevas estrategias para mejorar la eficiencia reproductiva en el ganado bovino.

Palabras clave: foliculogénesis, factores de crecimiento, reproducción, bovinos.

## Abstract

Folliculogenesis, oocyte maturity, ovulation, fertilization, embryonic development, implantation and the establishment

of gestation are critical periods in the reproductive function of female cattle. This review describes the role of three growth factors: growth differentiation factor (GDF9), bone morphogenetic protein (BMP15) and basic fibroblast growth factor (FGF2), in ovarian function and embryonic development. The oocyte in a primary follicle secretes GDF9, BMP15 and FGF2, which together, organize the surrounding granulosa and theca cells into the cumulus-oocyte complex. An autocrine-paracrine dialogue is generated between the oocyte and the somatic cells that continues throughout the follicular development that is essential to establish a competent oocyte that can complete meiosis, undergo fertilization, embryogenesis and development at term. This review argues that a deeper understanding of the biology of GDF9, BMP15 and FGF2 will lead to new strategies to improve reproductive efficiency in cattle.

Key words: folliculogenesis, growth factors, reproduction, bovines.

### **Introducción**

Los factores de crecimiento son proteínas formadas por cadenas de polipéptidos, que pueden unirse a receptores específicos glicoproteicos ubicados en la superficie de las células, y que generan una cascada de reacciones que conducirán posteriormente a destinos celulares específicos (Aguilar et al., 2019). Participan ejerciendo acciones específicas en la regulación de la proliferación, migración, desarrollo, supervivencia, apoptosis y diferenciación celular (Barbeito y Laube, 2005).

Los factores de crecimiento pueden clasificarse con base en su estructura y su actividad biológica en las siguientes familias: factor de crecimiento epidérmico (EGF), factores de crecimiento insulínico (IGF), factores de crecimiento derivados de plaquetas (PDGF), factor de crecimiento de hepatocitos (HGF),

factor de crecimiento endotelial vascular (VEGF), factor de crecimiento nervioso (NGF), factor de crecimiento fibroblástico (FGF) y factor de crecimiento transformante  $\beta$  (TGF $\beta$ ) (Barbeito y Laube, 2005). En esta revisión se profundizarán los aspectos biológicos de algunos factores de crecimiento que son miembros de la familia TGF $\beta$  y FGF.

En general, estos factores son sintetizados en forma de largas moléculas precursoras que posteriormente son procesadas por enzimas para dar lugar a las moléculas maduras. Una vez activos, para poder ejercer su efecto biológico, interactúan con receptores de membrana y activan diferentes vías intracelulares de señalización, que terminan regulando la expresión de un conjunto de genes (Barbeito y Laube, 2005). Dependiendo de donde se sinteticen y cuál es su blanco de acción, pueden actuar por tres vías distintas: a) autocrina: estimulando la propia célula que lo produce; b) paracrina: estimulando a las células vecinas; o c) endocrina: actuando a distancia a modo de efecto hormonal (Lloy, 1997).

Los factores de crecimiento se caracterizan por estar presentes en pequeñas concentraciones en una gran variedad de tejidos, tanto embrionarios como adultos, por lo que un mismo factor de crecimiento puede ser detectado en varios tejidos y cumplir en ellos acciones diferentes. Asimismo, diferentes factores de crecimiento pueden producirse por diferentes células en un tejido o por la misma célula bajo diferentes circunstancias (Giudice y Saleh, 1995).

En trabajos previos, la expresión génica del factor de diferenciación de crecimiento 9 (GDF9), de la proteína morfogénica ósea 15 (BMP15) y del factor de crecimiento básico de fibroblastos (FGF2) ha sido asociada con la madurez de los ovocitos, la fertilización, el desarrollo embrionario, la implantación y la gestación (Mckenzie et al., 2004; Zhang et al., 2005; Li et al., 2014, 2015). Numerosos estudios han identificado su presencia en las células de la granulosa, células de la teca y

el ovocito, en los cuales ejercen acción estimuladora en los diferentes estadios de desarrollo. Teniendo en cuenta que los factores de crecimiento previamente mencionados juegan un papel muy importante en eventos claves de la actividad reproductiva, en este trabajo se realiza una revisión bibliográfica de los mismos, con el fin de comprender su mecanismo de acción sobre la foliculogénesis y el desarrollo embrionario, conocimientos claves para la aplicación de nuevas biotecnologías de la reproducción y el consecuente aumento del potencial reproductivo en el ganado bovino.

### **Familia del factor de crecimiento transformante $\beta$**

La superfamilia de TGF $\beta$  se organiza en cuatro subfamilias principales clasificadas por sus funciones biológicas y su análisis filogenético. Entre ellas se encuentran (1) la subfamilia de las proteínas morfogenéticas óseas (BMP) y los factores de diferenciación del crecimiento (GDF), (2) la subfamilia de activinas, inhibinas y nodal; (3) la subfamilia TGF $\beta$ s con sus tres isoformas (TGF $\beta$ 1, TGF $\beta$ 2, y TGF $\beta$ 3) y (4) la subfamilia de la hormona antimülleriana (AMH), el factor neurotrópico derivado de la célula glial (GDNF), neurturina, artemina y persefina (Mueller y Nickel, 2012).

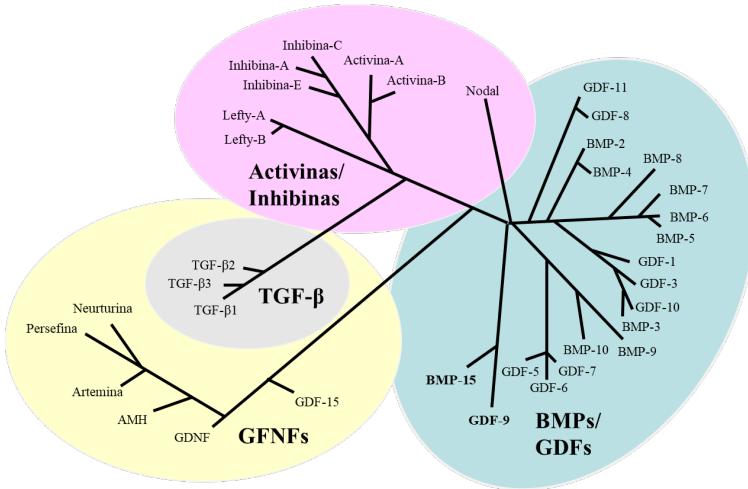


Figura 1. Familia de los TGF-β. Árbol filogenético en el que se encuentran representadas las cuatro subfamilias que conforman la familia de los factores de crecimiento TGF-β. Adaptado de Mueller y Nickel, 2012.

Todos los miembros de TGFβ se sintetizan como dímeros de proproteínas, que incluyen un péptido señal aminoterminal, un gran prodominio (propéptido inmaduro) y una parte madura carboxiloterminale (Mueller y Nickel, 2012) (Figura 1). El péptido señal, ubicado en el extremo amino terminal, permite que las proteínas puedan ser secretadas y posteriormente es eliminado. Después de la eliminación, las pro proteínas son dimerizadas en pro dominio y proteína madura. El pro dominio interviene a nivel intracelular regulando la velocidad, eficiencia de la dimerización y procesamiento proteolítico (Sopory et al., 2006).

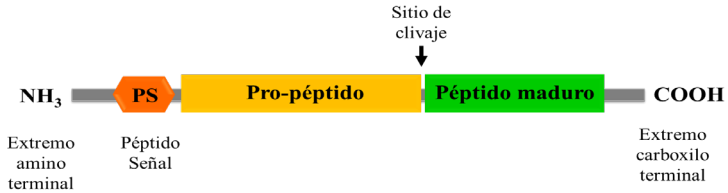


Figura 2. Representación gráfica de la estructura del precursor proteico de los miembros de la familia TGF $\beta$ .

Una vez secretados, los dímeros de la superfamilia TGF $\beta$  interactúan en la superficie celular con receptores transmembrana que presentan actividad serina / treonina quinasa, para activar una cascada de señalización que llegara al núcleo celular para traducir su respectiva señal (Juengel y McNatty, 2005).

### Factor de crecimiento de diferenciación 9 (GDF9)

En la especie bovina, el gen de GDF9 (NM\_174681.2) se encuentra localizado en el cromosoma 7 y consiste de dos exones separados por un solo intrón. Este gen codifica para la síntesis de la proteína del GDF9 (NP\_777106.1), constituida por 453 aminoácidos.

El GDF9 es un factor derivado principalmente del ovocito (Juengel y McNatty, 2005; Orisaka *et al.*, 2006), esencial para el desarrollo normal de los ovocitos y de las células de la granulosa, como así también para la formación de células de la teca (Otsuka *et al.*, 2011). Su actividad biológica está mediada por señales paracrinas entre el ovocito y sus células somáticas adyacentes (Kaivo-oja *et al.*, 2003; Mahesh *et al.*, 2017).

El factor GDF9 desempeña roles importantes en todas las etapas de la foliculogénesis. En etapas iniciales, promueve el

desarrollo de folículos primordiales y primarios a pequeños folículos preantrales (Skinner, 2005), estimulando la mitosis en las células de la granulosa y de la teca (Vitt *et al.*, 2000a, Wang y Roy, 2004, McNatty *et al.*, 2005, Spicer *et al.*, 2008). En la etapa de transición preantral / antral, induce la diferenciación celular, desarrollando fenotipos divergentes en las capas celulares de la granulosa. La divergencia se produce entre las células de la granulosa inmediatamente adyacentes al ovocito, denominadas células del *cumulus*, y las células de la granulosa murales, que están más alejadas del ovocito y se encuentran ubicadas alrededor de la periferia del folículo, que está separado del ovocito por un antro (Elvin *et al.*, 1999). Dentro de estos dos fenotipos de células somáticas puede ocurrir una especialización adicional dependiendo de la posición relativa dentro de las capas de células de la granulosa, ya que, células en contacto físico directo con el ovocito regulan las funciones de las células en su vecindad inmediata, estableciendo y manteniendo el fenotipo de las células *cumulus* (Paulini y Melo, 2011). También, en esta etapa, GDF9 promueve la supervivencia folicular al suprimir la apoptosis de las células granulosas y la atresia folicular (Orisaka *et al.*, 2006; Li *et al.*, 2014). Asimismo, estimula la expresión del receptor de FSH (FSHR) en las células de la granulosa, esencial para el crecimiento del folículo antral dependiente de la FSH (Otsuka *et al.*, 2011). En folículos antrales y preovulatorios tempranos, GDF9 promueve la proliferación de las células de la granulosa, a la vez que inhibe la esteroidogénesis inducida por FSH y la expresión de los receptores de LH en células de la granulosa del *cumulus* (Vitt *et al.*, 2000b, Otsuka *et al.*, 2011). En los folículos antrales, las células de la granulosa más cercanas a la lámina basal (murales) están altamente diferenciadas, tal como se refleja en su alto potencial esteroidogénico y contenido de receptores de LH. Por el contrario, las células del *cumulus* que rodean el ovocito son menos diferenciadas y muestran menor produc-



ción de esteroides y receptores de LH (Vitt *et al.*, 2000b). En el estado indiferenciado del *cumulus*, las células son necesarias para el desarrollo óptimo de los ovocitos, mientras que las células de la granulosa murales altamente diferenciadas son esenciales para la esteroidogénesis, así como para la rotura folicular inducida por el pico preovulatorio de LH. Estudios *in vitro* sugieren que el ovocito, a través de la secreción de GDF9, podría prevenir la promoción de la FSH de la esteroidogénesis y los receptores de LH en su *cumulus* circundante (Vitt *et al.*, 2000b). Además, GDF9 es crucial para el proceso de expansión del *cumulus*, ya que induce la expresión de los genes hialurónico sintasa 2 (HAS2), ciclooxigenasa 2, pentraxina 3, prostaglandina E2, gremlin y la síntesis del ARNm esteroidogénico de la proteína reguladora aguda, pero suprime el plasminógeno activador de la proteasa uroquinasa plasmínica (uPA) y la síntesis de ARNm del receptor de LH (LHR), en las células del *cumulus*, que son esenciales para su expansión, durante la maduración del ovocito y antes de la ovulación (Elvin *et al.*, 1999; Paulini y Melo, 2011; Dumesic *et al.*, 2015). La inducción de HAS2 y la supresión de la uPA en las células del *cumulus* son eventos claves en la producción de la matriz extracelular rica en ácido hialurónico, que se produce durante la expansión del *cumulus* y que logra un microambiente óptimo para los ovocitos, procesos esenciales para la normal ovulación, la fertilización y la reproducción (Elvin *et al.*, 1999).

Como se mencionó previamente, GDF9 inhibe la esteroidogénesis inducida por FSH mientras promueve la síntesis de progesterona en células de la granulosa en folículos preovulatorios, inducida por la vía dependiente de la ciclooxigenasa 2 que se requiere *in vivo* para una expansión óptima del *cumulus*; de este modo, se produce la estimulación de la síntesis de prostaglandinas E2 y la expresión del receptor E2, ambos necesarios para la síntesis de progesterona (Elvin *et al.*, 2000). Por otro lado, GDF9 produce un aumento de uPA en las células de

la granulosa murales, las que son importantes para la ruptura folicular y para el aumento de LHR que favorece la formación del cuerpo lúteo (Elvin *et al.*, 1999).

Por último, GDF9 juega un papel importante durante las etapas finales del crecimiento del folículo antes de la ovulación, ya que las células del *cumulus*, antes del pico de LH, requieren de este factor para llevar a cabo diversas cascadas metabólicas, entre ellas la glucólisis y la biosíntesis de esteroides (Sugiura *et al.*, 2005).

### Proteína morfogenética ósea 15 (BMP15)

En la especie bovina, el gen de BMP15 (NM\_001031752.1) se encuentra localizado en el cromosoma X y consta de dos exones separados de un intrón; los primeros exones codifican una secuencia de péptidos señal necesaria para la secreción. Este gen codifica para la síntesis de la proteína de la BMP15, constituida por 394 aminoácidos (NP\_001026922.1). La proteína BMP15 es un factor derivado del ovocito con un rol importante en el desarrollo folicular desde las etapas primordiales a las primarias en adelante (McNatty *et al.*, 2005; Wu *et al.*, 2007; Gasperin *et al.*, 2014; Shimizu *et al.*, 2019).

Su actividad biológica está mediada por señales paracrinas entre el ovocito y sus células somáticas adyacentes, e interactúa con diferentes receptores (Mahesh *et al.*, 2017; Moore *et al.*, 2003; Shimizu *et al.*, 2019). La BMP15, similar al GDF9, estimula la proliferación y diferenciación de las células de granulosa (Otsuka *et al.*, 2000) e interviene en la expansión del *cumulus* (Lan *et al.*, 2003). La BMP15 interactúa con kit de ligando (KL) en la regulación de la mitosis de células granulosas, a través de sus receptores en las células granulares para estimular la mitosis y la expresión de KL. El kit ligando, a su vez, actúa a través de su receptor en la superficie del ovocito para inhibir la ex-

presión de BMP-15, formando un circuito de retroalimentación negativa. El kit ligando también causa un aumento en la mitosis de las células de la granulosa, presumiblemente al estimular al ovocito a secretar un mitógeno no identificado (Otsuka y Shimasaki, 2002). Las acciones de BMP15 están reguladas por la folistatina, una proteína de unión que puede unirse a BMP15 y negar su actividad (Otsuka et al., 2001). La folistatina se expresa fuertemente en los folículos dominantes y es imperceptible en los folículos atróficos. Como BMP15 inhibe la expresión del receptor de FSH (FSHR), la regulación de la folistatina sobre las acciones de BMP15 es importante para mantener la capacidad de respuesta de las células de la granulosa a la FSH (Otsuka et al., 2011).

La proteína BMP15, junto con GDF9, son responsables de regular la biosíntesis de colesterol de las células del *cumulus*, como una compensación por la deficiencia en los ovocitos (Su et al., 2008); por lo tanto, BMP15 coopera para promover la glucólisis en las células del *cumulus*, necesaria para el desarrollo normal del ovocito (Sugiura et al., 2005, 2008). BMP15 también participa en la regulación de la apoptosis de las células del *cumulus*, previniendo activamente la muerte celular dentro de los complejos de *cumulus*-ovocitos (COCs) hasta el momento de la ovulación (Hussein et al., 2005).

Al comparar especies que carecen de una fase lútea completamente funcional, pues manifiestan ciclos estrales incompletos (ratones, ratas), con animales de ciclos estrales completos (humanos, cabras, cerdos y vacas), los factores GDF9 y BMP15 se expresan en diferentes tejidos. Las diferencias observadas podrían explicarse por las divergencias en las formas fisiológicas y reproductivas de las especies estudiadas; esto sugiere que estos factores regulan la tasa de ovulación y la fertilidad de la hembra de forma específica para cada especie (Al-Musawi et al., 2013; Chen et al., 2017). Recientemente, estas diferencias funcionales específicas para cada especie entre

animales mono y poliovulatorios se atribuyeron al distinto momento de la transformación de la proteína BMP15 en un BMP15 funcionalmente maduro (Hosoe *et al.*, 2011). En este sentido, recientemente se detectó la expresión de genes de ambos factores en células del cumulus y ovocitos en el ganado bovino (Hosoe *et al.*, 2011; Reineri *et al.*, 2018). A su vez, se determinó la expresión de los receptores específicos TGF $\beta$ -R1 y BMPR-IB en células de la granulosa y ovocitos (Juengel *et al.*, 2004; Haas *et al.*, 2016, Silva *et al.*, 2016; Zoheir *et al.*, 2017, Reineri *et al.*, 2018), lo que sugiere que estos factores podrían actuar de manera paracrina y autocrina.

Se debe destacar que tanto GDF9 como BMP15 están presentes en la mayoría de las etapas del crecimiento folicular en la hembra bovina y se consideran como una unidad de señalización funcional importante en el proceso de la foliculogénesis (McNatty *et al.*, 2005). En este sentido, se sugiere que la expresión de los factores GDF9 y BMP15 en células foliculares podría usarse como biomarcadores para predecir el potencial de desarrollo de los ovocitos (Wu *et al.*, 2007; Li *et al.*, 2014, Reineri *et al.*, 2018).

### **Familia de los factores de crecimiento de los fibroblastos (FGFs)**

Los FGFs cumplen roles claves en muchos procesos biológicos e inducen actividad agiogénica, mitogénica, quimiotáctica y morfogénica en una amplia variedad de células y tejidos (Plotnikov *et al.*, 2000; Schams y Berisha, 2002). La familia de los FGFs en mamíferos está constituida por 18 péptidos agrupados en seis subfamilias (Ornitz y Itoh, 2001), entre ellas, la subfamilia FGF1 (FGF1 y FGF2), la subfamilia FGF4 (FGF4, FGF5 y FGF6), la subfamilia FGF 7 (FGF3, FGF7, FGF10 y FGF22), la subfamilia FGF8 (FGF8, FGF17 y FGF18), la subfamilia FGF9 (FGF9, FGF16

y FGF20) y la subfamilia FGF19 (FGF19, FGF21 y FGF23) (Be-  
 lov y Mohammadi, 2013). Todas estas subfamilias comparten  
 secuencia y similitud estructural, por lo cual se las agrupa en  
 la misma familia. Sin embargo, los miembros de la subfamilia  
 FGF11, FGF12, FGF13 y FGF14 no pueden activar los receptores  
 de FGF y, por lo tanto, no se incluyen en la clasificación como  
 las demás subfamilias (Hui et al., 2018).

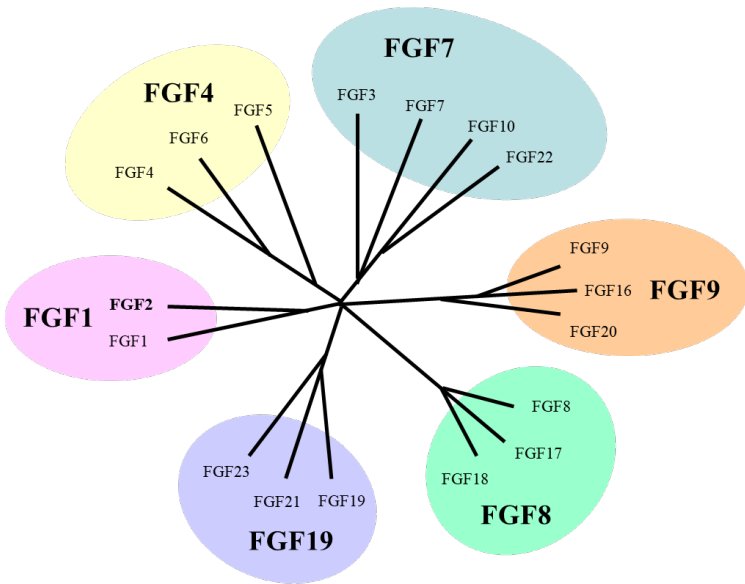


Figura 3. Familia de los factores de crecimiento fibroblásticos (FGF)

Los FGFs poseen un peso molecular que varía entre 17 a 34 kDa y están compuestos por 150 a 250 aminoácidos que presentan entre un 13 y 71% de homología (Itoh y Ornitz, 2004). Todos los miembros de la familia FGF, excepto FGF11, FGF12, FGF13, FGF14, FGF9, FGF16 y FGF20, incluyen un péptido señal que se dirige a los FGF para la secreción a través de la clásica

vía secretora del complejo del retículo endoplásmico de Golgi. La secreción de los miembros que carecen de este péptido señal se produce a través de vías independientes del complejo de retículo endoplásmico (Hui *et al.*, 2018). Los FGF ejercen sus efectos al unirse y activar la subfamilia de receptores de FGF (FGFR), receptores de tirosina quinasas que están codificados por cuatro genes (FGFR1, FGFR2, FGFR3 y FGFR4) en presencia del cofactor heparina, a través de su sitio de unión (Belov y Mohammadi, 2013; Hui *et al.*, 2018).

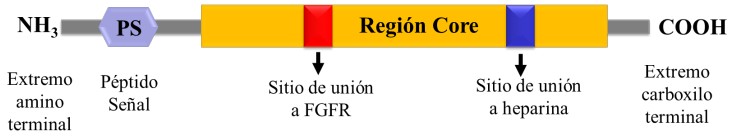


Figura 4. Representación gráfica de la estructura del precursor proteico de los miembros de la subfamilia FGF1.

### Factor de crecimiento básico de los fibroblastos 2 (FGF2)

En la especie bovina, el gen de FGF2 se encuentra localizado en el cromosoma 17 y consta de tres exones separados por dos intrones (NM\_174056.4). Este gen codifica para la síntesis de la proteína del FGF2, la que está constituida por 155 aminoácidos (NP\_776481.2).

El FGF2 tiene funciones pleiotrópicas en muchos tipos de células y tejidos; es un factor agiogénico, mitogénico y de supervivencia, que participa en la migración celular, en la diferenciación celular y en una variedad de procesos de desarrollo (Schams y Berisha, 2002). Su actividad biológica está mediada por señales paracrinas (Itoh y Ornitz, 2004; Hui *et al.*, 2018) e interactúa con receptores de FGF de tirosina quinasa de la

superficie celular (Chaves *et al.*, 2012). Después de la unión al receptor, los FGF inducen la dimerización funcional, la fosforilación de los residuos de tirosina citoplasmática específica y la activación de cuatro vías claves de señalización que regulan la expresión génica al interactuar con activadores o represores.

A nivel ovárico, el FGF2 está implicado en muchas funciones, como la mitosis, la esteroidogénesis, la apoptosis y la diferenciación de las células de la granulosa (Almeida *et al.*, 2012). Al igual que BMP15 y GDF9, puede promover el crecimiento de células de la granulosa, de teca y del estroma ovárico durante el desarrollo folicular primitivo y temprano (Nilsson *et al.*, 2001). En bovinos, se describió la presencia de la proteína FGF2 en ovocitos de folículos primordiales y primarios, y en las células de la granulosa y de la teca, obtenidas de los folículos preantrales o antrales (Van Wezel *et al.*, 1995, Reineri *et al.*, 2018), lo que demuestra que su actividad es importante no solo en los estadios de folículos primarios, sino también en estadios más avanzados. Asimismo, la expresión de ARNm del FGF2 se detectó en ovocitos, células del cumulus, células murales de la granulosa y células de la teca; esto fortalece su papel sistémico durante la foliculogénesis (Schams *et al.*, 2009; Silva *et al.*, 2016, Reineri *et al.*, 2018). Adicionalmente, el receptor FGFR2 ha sido detectado en todas las células foliculares, lo que indica que FGF2 podría actuar como regulador paracrino y autocrino en la foliculogénesis.

Por otro lado, FGF2 interviene en la remodelación de la matriz extracelular, promoviendo la proliferación celular en folículos primordiales. En este sentido, se sugiere que FGF podría realizar funciones análogas dentro de los folículos preovulatorios determinando el sitio de ruptura (Field *et al.*, 2014). Asimismo, cumple un papel importante en la angiogénesis de la nueva formación del cuerpo lúteo (Schams y Berisha, 2004), cuyo efecto es la estimulación del crecimiento de células endoteliales vasculares (Neuvians *et al.*, 2004). Conjuntamente, la

capacidad angiogénica de FGF2 en los folículos genera la proliferación de capilares que acompañan la selección del folículo preovulatorio, lo que resulta en un mayor suministro de nutrientes y precursores y favorece el crecimiento final del folículo preovulatorio (Berisha et al., 2004). El factor FGF2 también interviene en la supervivencia celular, ya que es un regulador de la viabilidad de las células de la granulosa por que participa en la inhibición de la apoptosis de las mismas (Chaves et al., 2012).

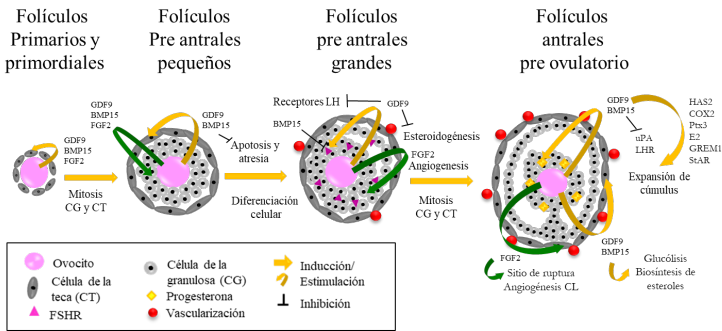


Figura 5. Modelo resumido del efecto de GDF9, BMP15 y FGF2 sobre las células foliculares en los diferentes estadios de desarrollo folicular. GDF9, factor de crecimiento diferenciado 9; BMP15, proteína morfogénica del hueso; FGF2, factor de crecimiento de fibroblastos básico; HAS2: hialurónica sintasa 2; COX2: ciclooxigenasa 2; Ptx3: pentraxina 3; E2: prostaglandina E2; GREM1: gremlin; StAR: proteína reguladora aguda; uPA: plasminógeno activador de la proteasa uroquinasa plasmínica; LHR: receptor de LH.

## Conclusiones

La revisión bibliográfica muestra la presencia de un complejo sistema de regulación intrafolicular compuesto por GDF9,



BMP15, FGF2 y sus principales receptores en ovarios bovinos. En este sentido, los factores de crecimiento mencionados contribuyen a la proliferación de las células de la granulosa, lo que estimula la mitosis y contribuye a su diferenciación, desde los folículos primordiales a las etapas antrales. Los factores GDF9, BMP15 y FGF2 interactúan con hormonas y metabolitos, entre los diferentes componentes del folículo, en diferentes estadios de desarrollo, con el objetivo de generar un ovocito competente que pueda completar la meiosis, experimentar fertilización, embriogénesis y desarrollo a término. A su vez, la expresión de estos factores puede regular la selección del folículo y/o la ovulación en especies con un ciclo estral completo. La mejora de la calidad de los ovocitos, el desarrollo temprano del embrión y la implantación se consideran pasos críticos necesarios para generar un nuevo cambio en la eficiencia de la reproducción natural y asistida en el ganado bovino.

## Bibliografía

- Aguilar, Lilith M.C.; Silva, Saimon M.; Moulton, Simon E. (2019). "Growth factor delivery: Defining the next generation platforms for tissue engineering". *J. Control. Release.* (306), pp. 40-58.
- Almeida, A.P.; Saraiva, M.V.A.; Filho, J.G.A.; Silva, G.M.; Gonc, R.F.B. (2012). "Gene Expression and Immunolocalization of Fibroblast Growth Factor 2 in the Ovary and Its Effect on the In Vitro Culture of Caprine Preantral Ovarian Follicles". *Reprod Dom Anim.* (47), pp. 20-25.
- Al-musawi, Sara L.; Walton, Kelly L., Heath, Derek; Simpson, Courtney M.; Harrison, Craig A. (2013). "Species differences in the expression and activity of bone morphogenetic protein 15". *Endocrinology.* (154), pp. 888-899.
- Barbeito, Claudio Gustavo; Andrés Laube, Pedro Fernando. (2005). "Growth factors . Basic considerations and potential therapeutics". *Aanalecta Vet.* (25), pp. 8-27.
- Belov, Artur A.; Mohammadi, Moosa (2013). "Molecular Mechanisms of Fibroblast Growth Factor Signaling in Physiology and Pathology". *Cold Spring Harb. Lab. Press.* 5 (6), pp. 1-24.
- Berisha, Bajram; Sinowatz, Fred; Schams, Dieter. (2004). "Expression and Localization of Fibroblast Growth Factor (FGF) Family Members During the Final Growth of Bovine Ovarian Follicles". *Mol. Reprod. Dev.* (67), pp. 162-171.
- Chaves, Roberta N.; Tavares de Matos, Maria Helena; Buratini, Jose Jr; de Figueiredo, Jose Ricardo. (2012). "The fibroblast growth factor family : Involvement in the regulation of folliculogenesis". *Reprod. Fertil. Dev.* (24), pp. 905-915.
- Chen, Hongyan; Liu, Chang; Jiang, Hao; Gao, Yan; Xu, Ming-qiang; Wang, Jiawei; Liu, Siyuan; Fu, Yao; Sun, Xulei; Xu, Jiajun; Dai, Lisheng; Zhang, Jiabao. (2017). "Regulatory Role of miRNA-375 in Expression of BMP15/GDF9 Receptors and its Effect on Proliferation and Apoptosis of Bovine Cumulus Cells". *Cell. Physiol. Biochem.* (41), pp. 439-450.

- Dumesic, Daniel A.; Meldrum, David R.; Katz-Jaffe, Mandy G.; Krisher, Rebecca L.; Schoolcraft, William B. (2015). "Oocyte environment : follicular fluid and cumulus cells are critical for oocyte health". *Fertil. Steril.* (103), pp. 303–316.
- Elvin, Julia A.; Clark, Amander T.; Wang, Pei; Wolfman, Neil M.; Matzuk, Martin M. (1999). "Paracrine actions of growth differentiation factor-9 in the Mammalian Ovary". *Mol. Endocrinol.* (13), pp. 1035–1048.
- Elvin, Julia A.; Yan, Changning; Matzuk, Martin M. (2000). "Growth differentiation factor-9 stimulates progesterone synthesis in granulosa cells via a prostaglandin E<sub>2</sub> EP2 receptor pathway". *Proc Natl Acad Sci U S A.* 97 (18), pp. 10288–10293.
- Field, Sarah L.; Dasgupta, Tathagata; Cummings, Michele; Orsi, Nicolas M. (2014). "Cytokines in Ovarian Folliculogenesis, Oocyte Maturation and Luteinisation". *Mol. Reprod. Dev.* (81), pp. 284–314.
- Gasperin, Bernardo G.; Ferreira, Rogéiro; Rovani, Monique T.; Bordignon, Vilceu, Duggavathi, Raj; Buratini, José, Oliveira, Joao F.C.; Gonçalves, Paulo B.D. (2014). "Expression of receptors for BMP15 is differentially regulated in dominant and subordinate follicles during follicle deviation in cattle". *Anim. Reprod. Sci.* (144), pp. 72–78.
- Giudice, Linda C.; Saleh, Walid (1995). "Growth factors in reproduction". *Trends in Endocrinology & Metabolism.* 6 (2), pp. 60-69.
- Haas, C.S., Rovani, M.T., Oliveira, F.C., Vieira, A.D., Bordignon, V., Gonçalves, P.B.D., Ferreira, R., Gasperin, B.G. (2016). "Expression of growth and differentiation Factor 9 and cognate receptors during final follicular growth in cattle". *Anim. Reprod.* (13), pp. 756–761.
- Hosoe, Misa; Kaneyama, Kanako; Ushizawa, Koichi; Hayashi, Ken-Go, Takahashi, Toru. (2011). "Quantitative analysis of bone morphogenetic protein 15 (BMP15) and growth differentiation factor 9 (GDF9) gene expression in calf and adult bovine ovaries". *Reprod. Biol. Endocrinol.* 9 (33), pp. 1-8.

- Hui, Qi, Jin, Zi, Li, X Xiaokun; Changxiao; Wang, Xiaojie. (2018). "FGF Family : From Drug Development to Clinical Application". *Int. J. Mol. Sci.* 19 (1875), pp. 1–15.
- Hussein, Tamer S.; Froiland, David A.; Amato, Fred; Thompson, Jeremy G., Gilchrist, Robert B. (2005). "Oocytes prevent cumulus cell apoptosis by maintaining a morphogenic paracrine gradient of bone morphogenetic proteins." *J. Cell Sci.* 118 (22), pp. 5257–5268.
- Itoh, Nobuyuki; Ornitz, David M., (2004). "Evolution of the Fgf and Fgfr gene families". *Trends in Genetics.* 20 (11), pp. 14–20.
- Juengel, Jennifer L., Bibby, Adrian H., Reader, Karen L., Lun, Stan; Quirke, Laurel D., Haydon, Lisa J., McNatty, Kenneth P. (2004). "The role of transforming growth factor-beta (TGF-beta) during ovarian follicular development in sheep". *Reprod. Biol. Endocrinol.* 2 (78), pp. 1-11.
- Juengel, Jennifer L.; McNatty, Kenneth P. (2005). "The role of proteins of the transforming growth factor- b superfamily in the intraovarian regulation of follicular development", *Hum. Reprod. Update.* 11 (2), pp. 144–161.
- Kaivo-Oja, Noora; Bondestam, Jonas; Kämäräinen, Meerit; Koskimies, Janne; Vitt, Ursula; Cranfield, Mark; Vuojolainen, Kaisa; Kallio, Janne P.; Olkkonen, Vesa M.; Hayashi, Masaru; Moustakas, Aristidis; Groome, Nigel P.; ten Dijke, Peter; Hsueh, Aaron J. W.; Ritvos, Olli (2003). "Growth Differentiation Factor-9 Induces Smad2 Activation and Inhibin B Production in Cultured Human Granulosa-Luteal Cells". *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism.* 88 (2), pp. 755–762
- Lan, Zi-Jian., Gu, Peili, Xu, Xueping, Jackson, Kathy J., Demayo, Francesco J., O´Malley, Bert W., Cooney, Austin J. (2003). "GDNF-dependent repression of BMP-15 and GDF-9 mediates gamete regulation of female fertility". *EMBO J.* 22 (16), pp. 4070-81.
- Li, Sheng-Hsiang., Lin, Ming-Huei, Hwu, Yuh-Ming, Lu, Chung-Hao, Yeh, Ling-Yu, Chen, Ying-Jie, Lee, Robert Kuo-Kuang.

- (2015). "Correlation of cumulus gene expression of embryo development". *Reprod. Biol. Endocrinol.* 13 (93), pp. 1–8.
- Li, Yi, Li, Rui-Qi, Ou, Song-Bang, Zhang, Ning-Feng, Ren, Ling, Wei, Li-Na, Zhang, Qing-Xue, Yang, Dong-Zi. (2014). "Increased GDF9 and BMP15 mRNA levels in cumulus granulosa cells correlate with oocyte maturation, fertilization, and embryo quality in humans". *Reprod. Biol. Endocrinol.* 12 (81), pp. 1–9.
- Lloyd, Ricardo V. (1997). "Growth factors". *Endocr Pathol.* 8 (2), pp. 121-127.
- Mahesh, Yelisetti Uma; Gibence, Henderson Rose Winnie, Shivaji, Sisinthy, Rao, Brahmasani Sambasiva. (2017). "Effect of different cryo-devices on in vitro maturation and development of vitrified-warmed immature buffalo oocytes". *Cryobiology.* (75), pp. 106–116.
- McKenzie, L.J., Pangas, S.A., Carson, S.A., Kovanci, E., Cisneros, P., Buster, J.E., Amato, P., Matzuk, M.M. (2004). "Human cumulus granulosa cell gene expression : a predictor of fertilization and embryo selection in women undergoing IVF". *Hum. Reprod.* (19), pp. 2869–2874.
- McNatty, Kenneth P., Juengel, Jennifer L., Reader, Karen L., Lun, Stan, Myllymaa, Samu, Lawrence, Steve B., Western, Andrea, Meerassahib, Mohamed F., Mottershead, David G., Groome, Nigel P., Ritvos, Olli, Laitinen, Mika P.E. (2005). "Bone morphogenetic protein 15 and growth differentiation factor 9 co-operate to regulate granulosa cell function in ruminants". *Reproduction.* (129), pp. 481–487.
- Moore, Kelly R., Otsuka, Fumio, Shimasaki, Shunichi. (2003). "Molecular Basis of Bone Morphogenetic Protein-15 Signaling in Granulosa Cells". *J. Biol. Chem.* (278), pp. 304–310.
- Mueller, Thomas D., Nickel, Joachim (2012). "Promiscuity and specificity in BMP receptor activation". *FEBS Lett.* (586), pp. 1846–1859.
- Neuviens, Tanja P., Berisha, Bajram, Schams, Dieter. (2004). "Vascular Endothelial Growth Factor (VEGF) and Fibroblast Growth Factor (FGF) Expression During Induced Luteoly-

- sis in the Bovine Corpus Luteum." *Mol. Reprod. Dev.* (67), pp. 389–395.
- Nilsson, Eric, Parrott, Jeff A., Skinner, Michael K., (2001). "Basic fibroblast growth factor induces primordial follicle development and initiates folliculogenesis". *Mol. Cell. Endocrinol.* (175), pp. 123–130.
- Orisaka, Makoto, Orisaka, Sanae, Jiang, Jin-Yi, Craig, Jesse, Wang, Yifang, Kotsuji, Fumikazu, Tsang, Benjamin K. (2006). "Growth differentiation factor 9 is antiapoptotic during follicular development from preantral to early antral stage". *Mol. Endocrinol.* (20), pp. 2456–68.
- Ornitz, David M., Itoh, Nobuyuki. (2001). "Protein family review Fibroblast growth factors Gene organization and evolutionary history". *Genoma Biol.* 2 (3), pp. 1–12.
- Otsuka, Fumio, McTavish, Kirsten, Shimasaki, Shunichi. (2011). "Integral Role of GDF-9 and BMP-15 in Ovarian Function". *Mol. Reprod. Dev.* (78), pp. 9–21.
- Otsuka, Fumio, Moore, Kelly R., Iemura, Shun-Ichiro, Ueno, Naoto, Shimasaki, Shunichi. (2001). "Follistatin Inhibits the Function of the Oocyte-Derived Factor BMP-15". *Biochem. Biophys. Res. Commun.* (289), pp. 961–966.
- Otsuka, Fumio, Shimasaki, Shunichi. (2002). "A negative feedback system between oocyte bone morphogenetic protein 15 and granulosa cell kit ligand : Its role in regulating granulosa cell mitosis". *Proc Natl Acad Sci USA.* (99), pp. 8060–8065.
- Otsuka, Fumio, Yao, Zuxu, Lee, Taek-hoo, Yamamoto, Shin, Erickson, Gregory F., Shimasaki, Shunichi. (2000). "Bone Morphogenetic Protein-15". *J. Biol. Chem.* (275), pp. 39523–39528.
- Paulini, Fernanda, Melo, Eduardo O. (2011). "The Role of Oocyte-Secreted Factors GDF9 and BMP15 in Follicular Development and Oogenesis. *Reprod. Domest. Anim.* (46), pp. 354–361.
- Plotnikov, Alexander N., Hubbard, Stevan R., Schlessinger, Joseph, Mohammadi, Moosa. (2000). "Crystal Structures of

- Two FGF-FGFR Complexes Reveal the Determinants of Ligand-Receptor Specificity". *Cell*. (101), pp. 413–424.
- Reineri, Pablo Sebastián, Coria, María Sumampa, Barrionuevo, María Guadalupe, Hernández, Olegario, Palma, Gustavo Adolfo. (2018). "Gene expression of growth factor BMP15, GDF9, FGF2 and their receptors in bovine follicular cells". *Rev.MVZ Córdoba*. (23), pp. 6778–6787.
- Schams, Dieter, Berisha, Bajram. (2002). "Angiogenic Factors (VEGF , FGF and IGF) in the Bovine Corpus Luteum". *J. Reprod. Dev.* (48), pp. 233–242.
- Schams, Dieter, Berisha, Bajram. (2004). "Regulation of Corpus Luteum Function in Cattle – an Overview". *Reprod Dom Anim.* (39), pp. 241–251.
- Schams, Dieter, Steinberg, Vera, Steffl, Martin, Meyer, Heinrich H.D., Berisha, Bajram. (2009). "Expression and possible role of fibroblast growth factor family members in porcine antral follicles during final maturation". *Reproduction*. (138), pp. 141–149.
- Shimizu, Ken, Bayasura, Nakamura Tomoko, Nakanishi, Natsumi, Kasahara, Yukiyo, Nagai, Takashi; Murase, Tomohiko, Osuka, Satoko, Goto, Maki, Iwase, Akira, Kikkawa, Fumitaka. (2019). "Molecular mechanism of FSHR expression induced by BMP15 in human granulosa cells". *J. Assist. Reprod. Genet.* (36), pp. 1185–1194.
- Silva, J.R.V., van den Hurk, R., Figueiredo, J.R. (2016). "Ovarian follicle development in vitro and oocyte competence: advances and challenges for farm animals". *Domest. Anim. Endocrinol.* (55), pp. 123–135.
- Skinner, Michael K., (2005). "Regulation of primordial follicle assembly and development". *Hum. Reprod.* (11), pp. 461–71.
- Sopory, Shailaja, Nelsen, Sylvia M., Degnin, Catherine, Wong, Crispin, Christian, Jan L. (2006). "Regulation of Bone Morphogenetic Protein-4 Activity by Sequence Elements within the Prodomain". *J. Biol. Chem.* (281), pp. 34021–34031.
- Spicer, Leon J., Aad, Pauline Y., Allen, Dustin T., Mazerbourg, Sabine, Payne, Anita H., Hsueh, Aaron J. (2008). "Growth

- Differentiation Factor 9 (GDF9) Stimulates Proliferation and Inhibits Steroidogenesis by Bovine Theca Cells : Influence of Follicle Size on Responses to GDF9". *Biol. Reprod.* (253), pp. 243–253.
- Su, You-Qiang, Sugiura, Koji, Wigglesworth, Karen, O´Brien, Marilyn J., Affourtit, Jason P., Pangas, Stephanie A., Matzuk, Martin M., Eppig, John J. (2008). "Oocyte regulation of metabolic cooperativity between mouse cumulus cells and oocytes : BMP15 and GDF9 control cholesterol biosynthesis in cumulus cells". *Development.* (135), pp. 111–121.
- Sugiura, Koji, Pendola, Frank L., Eppig, John J. (2005). "Oocyte control of metabolic cooperativity between oocytes and companion granulosa cells : energy metabolism". *Dev. Biol.* (279), pp. 20–30.
- Sugiura, Koji, Su, You-Qiang, Diaz, Francisco J., Pangas, Stephanie.A., Sharma, Shweta, Wigglesworth, Karen, O´Brien, Marilyn J., Matzuk, Martin M., Shimasaki, Shunichi, Eppig, John J. (2008). "Oocyte-derived BMP15 and FGFs cooperate to promote glycolysis in cumulus cells". **Development.** (134), pp. 2593–2603.
- Van Wezel, K. Umaphysivam, W. Tilley, R.R. (1995). "Immunohistochemical localization of basic fibroblast growth factor in bovine ovarian follicles". *Mol. Cell. Endocrinol.* (115), pp. 133–140.
- Vitt, Ursula A., McGee, Elizabeth A., Hayashi, Masaru, Hsueh, Aaron J.W. (2000a). "In Vivo Treatment with GDF-9 Stimulates Primordial and Primary Follicle Progression and Theca Cell Marker CYP17 in Ovaries of Immature Rats". *Endocrinology.* (141), pp. 3814–3820.
- Vitt, Ursula A., Hayashi, Masaru, Klein, C., Hsueh, Aaron J.W. (2000b). "Growth Differentiation Factor-9 Stimulates Proliferation but Suppresses the Follicle- Stimulating Hormone-Induced Differentiation of Cultured Granulosa Cells from Small Antral and Preovulatory Rat Follicles". *Biology of reproduction.* (62), pp. 370–377.
- Wang, Jinrong, Roy, Shyamal K. (2004). "Growth Differentiation



- Factor-9 and Stem Cell Factor Promote Primordial Follicle Formation in the Hamster: Modulation by Follicle-Stimulating Hormone". *Biol. Reprod.* (70), pp. 577–585.
- Wu, Yan-Ting, Tang, Li, Cai, Jie, Lu, Xiu-E, Xu, Jian, Zhu, Xiao-Ming, Luo, Qiong, Huang, He-Feng. (2007). "High bone morphogenetic protein-15 level in follicular fluid is associated with high quality oocyte and subsequent embryonic development". *Hum. Reprod.* (22), pp. 1526–1531.
- Zhang, Xingqi, Jafari, Nadereh, Barnes, Randall B., Confino, Edmond, Milad, Magdy, Kazer, Ralph R. (2005). "Studies of gene expression in human cumulus cells indicate pentraxin 3 as a possible marker for oocyte quality". *Fertil. Steril.* (83), pp. 1169–1179.
- Zoheir, Khairy M.A., Harisa, Gamaleldin I., Allam, Ahmed A., Yang, Liguang, Li, Xiang, Liang, Aixin, Abd-Rabou, Ahmed A., Halim Harrath, Abdel. (2017). "Effect of alpha lipoic acid on in vitro development of bovine secondary preantral follicles". *Theriogenology.* (88), pp. 124-130.

## VOLTAMETRÍA COMPUTACIONAL DE SUPERFICIES MODIFICADAS

OSCAR A. PINTO<sup>1</sup>; PEDRO MARCELO PASINETTI <sup>2</sup>;  
MAXIMILIANO GAVILÁN ARRIAZU<sup>3</sup>; RODRIGO GIMÉNEZ<sup>4</sup>

### Resumen

El avance de las tecnologías computacionales ha permitido que la simulación por computadora juegue un rol relevante en el avance de la ciencia actual. En este capítulo, describiremos los resultados y progresos que se han obtenido en la simulación de procesos superficiales asociados a voltametría lineal, aplicados a electrodos modificados para mejorar sus propiedades eléctricas. Indagaremos sobre una aproximación teórica para describir el proceso desde la matemática y la compararemos con resultados de la simulación computacional. También describiremos la transferencia de carga de dos especies sobre un electrodo. El estudio se basa principalmente en la simulación de Monte Carlo y en él

- 1 Doctor en Física, INBIONATEC UNSE CONICET.
- 2 Doctor en Física, INFAP UNSL CONICET.
- 3 Doctor en Química, INBIONATEC UNSE CONICET
- 4 Doctor en Química, CIBAL UNSE CONICET.

se analizarán diferentes escenarios energéticos.

Palabras clave: Monte Carlo, Voltametría, Electroodos Modificados.

## Abstract

The advancement of computer technology has allowed computer simulation to play a relevant role in the advancement of current science. In this chapter, we will describe the results and progress that have been obtained in the simulation of surface processes associated with linear voltammetry, applied to modified electrodes to improve their electrical properties. We will investigate a theoretical approach to describe the process from mathematics and we will compare it with results of the computational simulation. We will also describe the transfer of charge of two species on an electrode. The study is mainly based on the Monte Carlo simulation, and different energy scenarios will be analyzed.

Keywords: Monte Carlo, Voltammetry, Modified Electrodes.

## Introducción

La búsqueda de nuevos materiales capaces de mejorar sus prestaciones físicas, mecánicas, químicas, eléctricas, etc., es un campo que está en continuo desarrollo dentro de todas las áreas de la Ciencia y la Tecnología. En las ciencias químicas existe una rama que se denomina *electroquímica*, que estudia la transformación entre la energía eléctrica y la energía quími-

ca. Estas transformaciones se dan a través de reacciones químicas que se producen en la interfaz de un conductor eléctrico que se denomina *electrodo*, que es usualmente un sólido metálico o un semiconductor. También se considera un conductor iónico llamado *electrolito*, el cual puede ser una disolución. La creación de electrodos con mejores propiedades electroquímicas y analíticas, entre los que se incluyen polímeros, nanomateriales y películas de polímeros inorgánicos (Fei, 2005; Ricci, 2005; Li, 2005), se desarrolla a una velocidad notable.

En particular, las superficies de los electrodos pueden modificarse mediante la deposición de partículas externas, como nanopartículas (Welch, 2006) u otros tipos de moléculas. Esto tiene muchas aplicaciones, por ejemplo, en biosensores (Rad, 2011).

La deposición irreversible de partículas externas sin carga, denominadas partículas no electroactivas, en la superficie del electrodo puede aumentar o reducir la corriente en el circuito, ya que afecta el entorno energético y puede bloquear los sitios de deposición. Por ejemplo, existen procesos catalíticos en los que los sitios activos se apagan virtualmente, los que aceleran o desaceleran la velocidad de reacción (Kuznetsov, 2012; Zolfaghari, 1997)

Recientemente, los métodos computacionales han tenido un gran auge, desde la posibilidad de manipular parámetros que no se pueden manejar directamente en un laboratorio experimental. El fenómeno electroquímico se ha abordado mediante varios métodos de simulación, como los de elementos finitos (Compton 2013) o las simulaciones digitales (Speiser, 2016). La simulación de Monte Carlo (MC) (Binder, 2010), junto con modelos de gas de red, son estrategias de uso común para comprender los fenómenos que ocurren en los procesos electroquímicos (Rikvold, 2009).

Además de la simulación, también se han desarrollado enfoques teóricos. Una ventaja de esto es la posibilidad de ob-

tener información relevante a través de una expresión matemática. Mediante el enfoque de aproximaciones de campo medio y aproximaciones cuasi químicas en electrodos limpios, se realizaron análisis en voltametría para electrodeposición en modelos que incluyen interacciones laterales repulsivas para adsorción de bromuro en Ag (100), Ag (110) y Ag (111) (Koper, 1998). Los voltagramas de electrodeposición con interacciones laterales atractivas se han analizado en detalle mediante simulación cinética de MC y enfoque de campo medio (MFA) (Berthier, 2004).

Por otro lado, la deposición de mezclas binarias sobre superficies sólidas se ha estudiado en las ciencias de la superficie por su importancia en muchas aplicaciones tecnológicas, en áreas tales como la separación y la purificación de gases (Helfferich, 1984). Como en cualquier proceso de adsorción, las interacciones adsorbato-adsorbato en sustratos regulares inducen la formación de estructuras ordenadas. Estas estructuras tienen un fuerte efecto en la fabricación de microelectrónica, catalizadores, sensores y electrodos químicos, superficies sometidas a corrosión (Matsushima, 2004), etc. Este tema ha sido ampliamente estudiado en mezclas de adsorción de gases con varias técnicas y niveles de enfoques (Tovbin, 1997; Pinto, 2015). Se han utilizado muchas técnicas teóricas y computacionales para comprender diferentes procesos internos. En este sentido, la electrodeposición de dos tipos de iones pequeños ha sido estudiada con modelado computacional (Rikvold, 1995).

En el presente capítulo describiremos dos tópicos asociados con el estudio de electrodos modificados: 1) un enfoque matemático, como la *aproximación de campo medio*, que nos proporciona una descripción teórica de la corriente que circula en un electrodo modificado, y 2) deposición de una mezcla de dos componentes, que nos permitirá describir cómo es el proceso múltiple de transferencia de carga sobre

electrodos modificados. Para todo esto se utilizarán modelos matemáticos y simulaciones computacionales como lo es el método de Monte Carlo.

### **Modelos de superficies modificadas: voltametría y simulación de Monte Carlo**

El sistema bajo estudio, como se ha mencionado, es un electrodo metálico en el que se depositará una partícula cargada. Este se modela con una red geométrica de  $M$  sitios, donde cada sitio de la red corresponde a un posible sitio de deposición. En la figura 1, se observa una red cuadrada donde se identifican los sitios de deposición. Para la modificación de estos electrodos limpios, se incorpora una cantidad de impurezas (átomos, moléculas o combinación de ellos). Estas impurezas podrán ser de diferente naturaleza a la del sólido y le otorgarán a la superficie nuevos entornos energéticos, los cuales modificarán su capacidad de transferencia de carga eléctrica. Estas impurezas podrán cubrir o no la totalidad de la superficie. En nuestro modelo, vamos a modificar la superficie plana de geometría cuadrada, depositando al azar una cantidad  $N_c$  de impurezas. La densidad de impurezas será monitoreada por el parámetro  $\sigma$ , el cual puede variar entre 0 y 1. Si  $\sigma = 0(1)$ , la superficie se considerará libre (ocupada) de impurezas. El rol de estas impurezas en este caso es bloquear la transferencia de carga, es decir, en los sitios donde haya una impureza no podrá depositarse nada y no habrá transferencia de carga.

La técnica voltamétrica se basa en el análisis de la intensidad eléctrica que circula por un circuito formado por un electrodo, el cual está sumergido en una disolución que posee la especie cargada. Esta corriente se controla con un potencial eléctrico

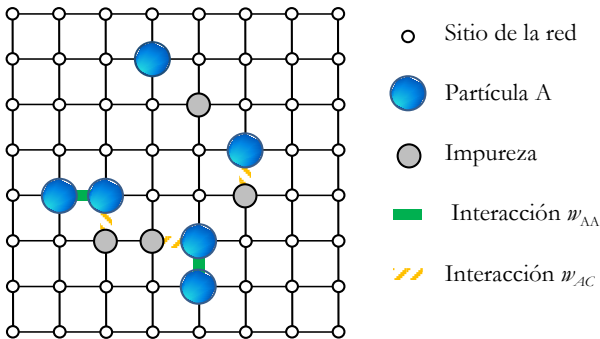
y es útil para caracterizar el electrodo. La superficie o electrodo es expuesta a la deposición reversible de una especie con carga eléctrica no nula, denominada *especie electroactiva*. El proceso de transferencia de carga es el siguiente: si una especie electroactiva, llamémosle A, se adsorbe en la superficie, esta adquiere una cantidad de carga dada por  $+\gamma_A e^-$ , mientras que si se desorbe, la superficie pierde una cantidad de carga igual a  $-\gamma_A e^-$ , donde  $\gamma_A$  es la valencia de electrosorción, que es una medida de la cantidad de la carga eléctrica  $e^-$  (electrones) que puede transferir la especie electroactiva<sup>5</sup>. Este proceso de adsorción-desorción se repite varias veces, y así se pueden obtener las corrientes medias asociadas al fenómeno electroquímico. A nivel microscópico, los procesos son controlados por el potencial químico  $\mu$ , que es propio de cada especie estudiada. Sin embargo, tanto en el laboratorio como en la simulación, este proceso se controla a través del potencial del electrodo E, que es la fuerza impulsora de todo el fenómeno. Por esto el fenómeno también se conoce como *electrodeposición*. Estos dos parámetros pueden conectarse para una especie arbitraria “X” a través de la siguiente expresión simplificada:

$$E = \frac{\mu_X - \mu_{0X}}{-\gamma_X e^-} \quad (1)$$

donde  $\mu_{0X}$  está relacionada a las condiciones iniciales en que se prepara el sistema. En todos estos procesos termodinámicos, la relación entre energías laterales (sobre la superficie) y temperatura son fundamentales. Cuando una partícula A es depositada en la superficie, esta podrá interactuar energé-

5 Si bien puede ser variable, en nuestro caso siempre será constante.

ticamente con su entorno. Si en su entorno hay otra partícula A, una interacción  $w_{AA}$  será considerada; si, en cambio, una impureza está presente, la interacción será  $w_{AC}$ . Si las energías son mayores que cero, se denominan repulsivas y, si son negativas, son atractivas<sup>6</sup>. La figura 1 muestra un esquema de una superficie plana de geometría rectangular, donde se ilustran las energías mencionadas.



**Figura 1.** Esquema de una superficie plana de geometría rectangular. Las intersecciones de las líneas indican los sitios de deposición de la red (círculos blancos). Se muestra una distribución arbitraria donde se identifican impurezas, partículas e interacciones laterales.

La técnica de cálculo permite obtener la corriente asociada al proceso de deposición y, con ello, realizar el análisis de la influencia de impurezas en la superficie de un electrodo plano. El proceso de equilibrio de adsorción-desorción se simula mediante la técnica estándar de MC en el conjunto Grand Canonical, utilizando el algoritmo de Glauber (Binder, 1984; Kehr,

<sup>6</sup> En caso de tomar el valor 0, se considera un sistema sin interacción que se conoce como régimen de Langmuir, que se observa a altas temperaturas.



1987) y el esquema de Metropolis (Metropolis, 1953). Este consiste en elegir un sitio al azar de la red y, dependiendo de si el sitio elegido está vacío u ocupado, se intentará depositar o desorber una partícula con una probabilidad dada por su entorno energético y la temperatura de funcionamiento. Este proceso se repite una cantidad  $M$  de veces, que corresponde a intentar cambiar una vez todos los sitios disponibles. Esto es lo que se denomina paso elemental de Monte Carlo, el cual, al ser repetido un número muy grande de veces (típicamente del orden de  $10^5$  a  $10^7$ ), tiene la finalidad de equilibrar el sistema y hacer promedios estadísticos. Una vez equilibrado y promediado el sistema, es posible obtener las variables que son útiles para el análisis. El proceso general se puede establecer como sigue: i) se establecen las condiciones iniciales; ii) se fijan la cantidad de impurezas  $N_{c,i}$ , a temperatura  $T$ , la cantidad de sitios  $M$ , las energías laterales y el rango de muestreo dado por un intervalo para el potencial  $E$ ; iii) luego se ejecuta en el programa, primero con una cantidad de pasos de Monte Carlo necesaria para alcanzar el equilibrio y, luego, un número similar de veces para medir las variables de estudio.

### **Aproximación de campo medio para superficies planas modificadas**

En general, el cálculo computacional necesita de cierta capacidad informática para obtener resultados a corto plazo. Por otro lado, existe la posibilidad de obtener información útil de un sistema a través del desarrollo de expresiones matemáticas que sean capaces de manifestar con gran certeza los aspectos más relevantes del fenómeno bajo estudio. Una de las teorías más usadas en este ámbito es la conocida aproximación de Campo Medio, también denominada aproximación de Bragg-Williams (BWA), la cual vamos a aplicar a nuestro sistema.

La energía total  $E_T$  de un sistema de  $N_A$  partículas  $A$ ,  $N_C$  impurezas y  $M$  sitios, se puede escribir como sigue:

$$E_T = 4(1 - \sigma)N_C \frac{N_A}{M^*} W_{AC} + 2N(1 - \sigma) \frac{N_A}{M^*} W_{AA}, \quad (2)$$

donde  $\sigma = N_{CM}$  es la concentración de impurezas y  $M^* = M - N_C$  es el número de sitios accesibles a las partículas. En el formalismo de la aproximación de Bragg-Williams, luego de aplicar varios pasos algebraicos (ver Apéndice I), el potencial toma la forma siguiente:

$$\beta E = \gamma_A e^{-\ln\left(\frac{1-\sigma-\theta_A}{\theta_A}\right)} + 4\beta\gamma_A e^{-(\sigma W_{AA} + \theta_A W_{AC})}, \quad (3)$$

donde  $\theta_A = \langle N_A/M \rangle$  es la densidad media de partículas  $A$  o simplemente cubrimiento superficial,  $\beta = 1/k_B T$  es la inversa de la temperatura y  $k_B$  es la constante de Boltzman. La corriente asociada respectiva puede expresarse mediante la expresión dada a continuación:

$$i_{BWA} = \frac{\partial \theta_A}{\partial (\beta E)}, \quad (4)$$

Esta última expresión puede obtenerse a través de cálculo de los incrementos matemáticos o derivada.

Para el desarrollo de la simulación, se ha desarrollado un código en el lenguaje C/C++, donde una red cuadrada emula la superficie del electrodo. En este código se establecen las energías, temperaturas, valencias de electrosorción, se determina la cantidad de sitios  $M$ , se distribuyen  $N_C$  impurezas al azar, etc. Para la dinámica, se utiliza el algoritmo de Glauber (Glauber, 1963), el cual consiste en elegir al azar un sitio de la red, si ese sitio está libre se intenta depositar una partícula  $A$  y se transfiere la carga eléctrica al sólido con una dada probabilidad de ocurrencia. En cambio, si está ocupado por una partícula  $A$ , se

intenta desorber y quitar carga eléctrica, con otra probabilidad. Sin embargo, si en el sitio elegido hay una impureza, se anula el intento y se pasa a elegir otro sitio. Esto se repite una gran cantidad de veces, para luego obtener los resultados finales a través de un promedio sobre intentos.

Los resultados de estas expresiones fueron comparados con simulaciones de Monte Carlo (MC) para obtener fortalezas y limitaciones de la aproximación. Para esta parte se eligieron los siguientes parámetros de simulación:  $M = 40000$  y  $\gamma = -1$ . Por razones de simplicidad, utilizaremos  $k_B T = 1$  y expresaremos todas las magnitudes en unidades de  $k_B T$ , es decir,  $E/k_B T$ ,  $w_{AA}/k_B T$ , etc. Esto nos permitirá independizarlos de las unidades; sin embargo, es posible transformar los resultados a las unidades estándar utilizadas en el laboratorio con una simple operación matemática.

En primer lugar, nos centraremos en la interacción lateral entre partículas e impurezas. La figura 2 muestra la curva voltamétrica (*i versus  $\beta E$* ) para una concentración fija de  $\sigma = 0.3$ , lo que implica un 30% de la superficie cubierta por impurezas y  $w_{AA}/k_B T > 0$  y  $w_{AC}/k_B T = 0$ . Las curvas de la simulación de MC (símbolos) como de la aproximación teórica BWA (líneas) están expresada en función del potencial electroquímico. Como puede verse, los resultados teóricos y de MC presentan un buen acuerdo cualitativo y cuantitativo, especialmente a valores pequeños o moderados de las interacciones laterales ( $w_{AA}/k_B T < 1$ ).

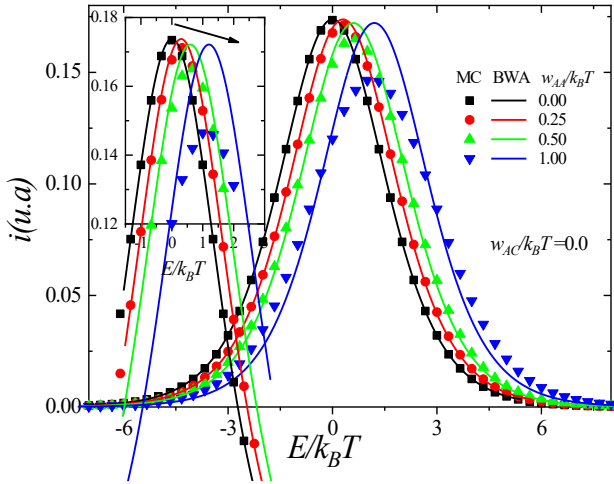
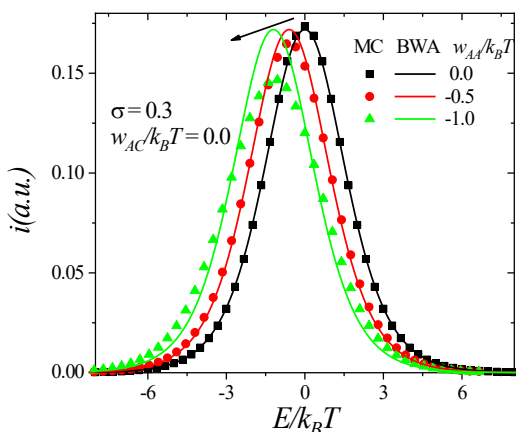


Figura 2. Voltagramas simulados para  $\sigma = 0.3$  y  $w_{AC}/k_B T = 0.0$  para varios valores repulsivos de  $w_{AA}/k_B T$  como se indica. Los símbolos corresponden a la simulación de MC y las líneas corresponden al enfoque teórico (BWA). La figura inserta muestra una ampliación de los picos, donde la flecha indica la tendencia.

La posición del máximo de la corriente,  $E_{p'}$ , se desplaza a valores más altos de potencial a medida que aumenta la magnitud de la interacción lateral. Al mismo tiempo, la corriente máxima,  $i_p$ , muestra una ligera disminución que, en este caso, no se reproduce por las curvas teóricas. Esto se observa en la figura inserta, que es una ampliación de la región del pico; la flecha indica la tendencia observada. Los resultados para la interacción lateral atractiva ( $w_{AA}/k_B T < 0$ ) se muestran en la figura 3. Se observa un comportamiento similar, excepto que los picos se desplazan hacia la dirección opuesta. Como era de esperar, se observan los mejores acuerdos para interacciones laterales débiles o nulas.



**Figura 3.** Voltagramas simulados para  $\sigma = 0.3$  y  $w_{AC}/k_B T = 0.0$  a varios valores atractivos de  $w_{AA}/k_B T$  como se indica. Los símbolos corresponden a la simulación de MC y las líneas corresponden al enfoque teórico (BWA). La flecha indica la tendencia de los picos con  $w_{AA}/k_B T$ .

Con el fin de comprender mejor el comportamiento del sistema, la figura 4 muestra las curvas voltamétricas, pero a diferentes concentraciones de impurezas,  $\sigma$  e interacción lateral fija de  $w_{AA}/k_B T = 0.5$ . La corriente máxima disminuye linealmente a medida que aumenta la concentración  $\sigma$ ; esto es debido a que la superficie accesible disminuye al aumentar las impurezas. Sin embargo, debido a las interacciones laterales, los potenciales máximos  $E_p/k_B T$  se desplazan. Para una comparación adicional, en el inserto de la figura 4 se muestra las posiciones de los picos,  $i_p$  versus  $E_p/k_B T$ , correspondientes a los diferentes valores de  $\sigma$ , tanto para MC como para BWA. Como puede verse, existe un muy buen acuerdo para todos los valores considerados de  $\sigma$ .

De estos estudios podemos concluir que, a mayor cantidad de impurezas, menor transferencia de carga y menor corriente.

Los desplazamientos de los picos hacia potenciales más altos (derecha) o más bajos (izquierda) está fuertemente relacionado con la intensidad de las interacciones laterales. Por otro lado, la aproximación teórica reproduce los datos de la simulación para un rango aceptable de interacciones tanto atractivas como repulsivas e identifica correctamente la posición de los picos. Sin embargo, para interacciones más fuertes la aproximación falla y hace necesario buscar otro desarrollo teórico que pueda describir mejor el fenómeno. Esto está actualmente en desarrollo.

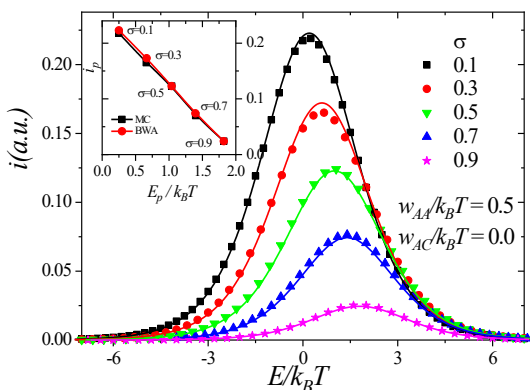


Figura 4. Voltagramas teóricos y simulados para  $w_{AA}/k_B T = 0.5$ ,  $w_{AC}/k_B T = 0.0$  y varios valores de  $\sigma$ , como se indica. La figura inserta muestra el buen acuerdo de la posición de los picos en función de  $\sigma$ , tanto para MC como para BWA.

### Voltimetría computacional de mezcla binaria en superficies planas modificadas

El modelo que venimos describiendo puede ser aplicado a la deposición de mezclas binarias. En este caso, dos especies

electroactivas con diferente valencia de electroadsorción podrán depositarse en la superficie de un electrodo modificado con impurezas. En consecuencia, la corriente total será la suma de las corrientes individuales. Al igual que antes, para este estudio se generaron modelos de gas de red y se aplicó simulación de Monte Carlo.

La superficie del electrodo se considera una red cuadrada homogénea con sitios de adsorción  $M$ , donde se puede depositar una mezcla binaria y transferir la carga. La superficie del electrodo puede modificarse de la misma manera que lo ya descrito en la sección 3. Estas impurezas bloquean la transferencia de carga. Como dijimos en este modelo, consideraremos dos especies electroactivas,  $A$  y  $B$ , con sus respectivas valencias de electroadsorción,  $\gamma_A = 1$  para la especie  $A$  y  $\gamma_B = -1$  para la especie  $B$ . Esto significa que cuando una partícula  $A$  (partícula  $B$ ) es adsorbida (desorbida), un electrón se transfiere al electrodo. El proceso inverso también es considerado. Luego habrá una expresión similar a la ecuación (1), para cada especie, donde consideraremos en este estudio  $\mu_{0A} = \mu_{0B} = 0.0$ . En el modelo actual ambas especies pueden interactuar entre sí. Las energías de interacción consideradas son: entre especies,  $w_{AB}$  e intraespecie,  $w_{AA}$  y  $w_{BB}$ . La densidad superficial de ambas especies es medida a través del *cubrimiento superficial parcial* de cada una de ellas, es decir  $\theta_A = \langle NA/M \rangle$  y  $\theta_B = \langle NB/M \rangle$ . Si el cubrimiento superficial es 1(0), la superficie está cubierta (vacía). Tal como fue expuesto antes, las corrientes parciales  $i_A$  e  $i_B$  y la total  $i$  se obtienen con el cálculo de derivadas similares a la ecuación (4).

En esta etapa el electrodo es preparado de la siguiente manera: a potenciales bajos  $E$  (grandes y negativos), el electrodo está cubierto únicamente de partículas  $B$ , es decir,  $\theta_B = 1.0$  y  $\theta_A = 0.0$ . A medida que  $E$  comienza a incrementarse, las partículas  $B$  se irán desorbiendo a la vez que las  $A$  se irán adsorbiendo, hasta que finalmente a potenciales altos y positivos se

obtendrá la situación inversa,  $\theta_B = 0.0$  y  $\theta_A = 1.0$ . Esto genera una dinámica de interacción entre las partículas que resulta de interés para su descripción.

La figura 5 (a) muestra las isotermas; cubrimiento versus potencial de electrodo,  $\theta_A$ ,  $\theta_B$  versus  $E/k_B T$  para el electrodo limpio ( $\sigma = 0.0$ ). La interacción se estableció en  $w_{AA}/k_B T = 0.0, 1.0, 3.0$  y  $5.0$  y  $w_{BB}/k_B T = 0.0$ . Para la condición sin interacciones,  $w_{AA}/k_B T = 0.0$ , las isotermas para ambas especies son sigmoides, que son típicas de un sistema a altas temperaturas. Como sabemos, a potenciales de electrodo bajos ( $E/k_B T < -5$ ), las partículas B cubren totalmente la superficie del electrodo.

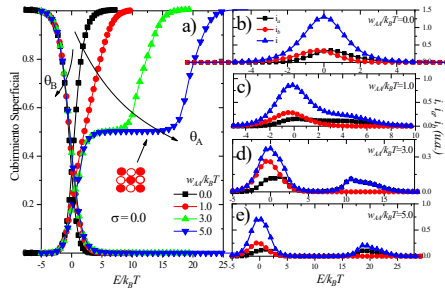


Figura 5. a) Isotermas de adsorción para electrodo limpio para ambas especies para  $w_{BB}/k_B T = w_{AB}/k_B T = 0.0$  y diferentes valores de  $w_{AA}/k_B T$ . El plateau asociado al cubrimiento medio indica la formación de la estructura ordenada  $c(2 \times 2)_A$ . Para las corrientes asociadas  $i_A$ ,  $i_B$  y la total  $i$ , a medida que aumentan las interacciones repulsivas, las corrientes disminuyen y los picos comienzan a dividirse en dos, como se observa en los paneles (b) - (e)

Cuando aumenta el potencial, la especie A comienza a adsorberse y a desplazar a la otra especie hasta llegar a cubrir toda la superficie del electrodo. Este fenómeno produce una corriente positiva para cada especie, como se muestra en la figura 5 (b), donde se observan las corrientes de cada especie (líneas roja y negra) y la corriente total (línea azul). El pico



asociado a la corriente total se centra en  $E/k_B T \approx 0.0$ , en correspondencia con la superposición de las corrientes individuales. A medida que  $w_{AA}/k_B T$  aumenta, las isothermas de la especie A comienzan a formar una meseta, que se corresponde con la formación de la estructura ordenada  $c(2 \times 2)_A$  en la superficie. Esta estructura está formada por partículas A con sitios vecinos más cercanos vacíos, como un tablero de ajedrez, como se muestra en el inserto de la figura 5 (a), donde los círculos rojos son partículas depositadas y los blancos, sitios vacíos. A medida que aumentan las interacciones repulsivas, las corrientes disminuyen y los picos comienzan a dividirse en dos, como se observa en las figuras 5 (c) - (e). Esto corresponde a los puntos de inflexión en las isothermas antes y después de la formación de la estructura  $c(2 \times 2)_A$ . Finalmente, la corriente total muestra dos picos, el primero es más intenso porque está formado por la contribución de las dos especies. El segundo depende únicamente de la especie A, porque la especie B es expulsada completamente de la superficie del electrodo.

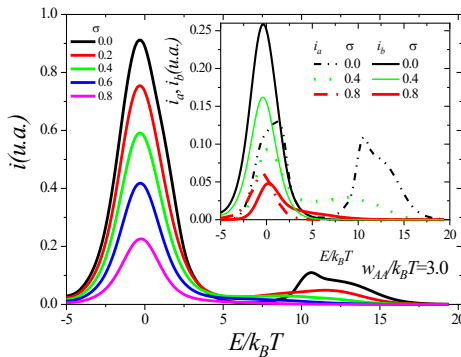
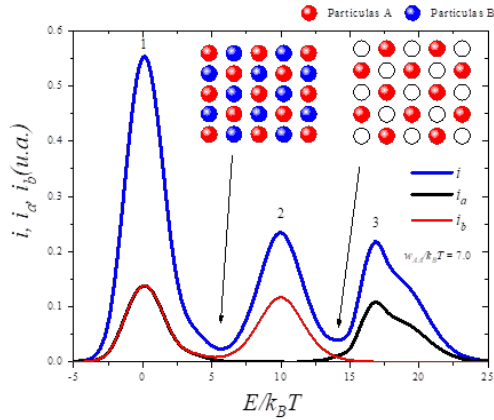


Figura 6. Corriente total para diversos valores de  $\sigma$ , para  $w_{AA}/k_B T=3.0$  y  $w_{BB}/k_B T=w_{AB}/k_B T=0.0$ . Se observa disminución en la intensidad de los picos y la desaparición del segundo pico para  $\sigma \geq 0.6$ . La figura inserta muestra las corrientes parciales para misma situación.

Para dar seguimiento al análisis, se deposita luego una cantidad de impurezas en la superficie del electrodo. Las interacciones se han establecido en  $w_{AA}/k_B T = 3.0$  y  $w_{BB}/k_B T = w_{AB}/k_B T = 0.0$ ; estos valores se eligen puesto que es posible identificar los dos picos con claridad. La figura 6 muestra la corriente total para valores crecientes de  $\sigma$ . Se pueden identificar claramente dos fenómenos: 1) la disminución en la intensidad de los picos, y 2) la desaparición del segundo pico para  $\sigma \geq 0.6$ . Esto se puede entender por la funcionalidad de los sitios bloqueados. A medida que aumenta  $\sigma$ , los sitios vacíos disponibles disminuyen y hay menos sitios disponibles para transferir la carga, por lo que la corriente disminuye. Por otro lado, las impurezas reducen las interacciones de cada sitio y, en consecuencia, la estructura ordenada no se puede formar por completo. El inserto en la figura 6 muestra las corrientes individuales para los casos indicados. Como se puede ver, la especie B solo contribuye al pico de la izquierda.

La figura 7 muestra las corrientes parciales y totales para el caso  $w_{AA}/k_B T = 7.0$  y  $\sigma = 0.0$ . En la misma figura se observan tres picos, los cuales fueron identificados con números. El primer pico identificado con (1) y ubicado en  $E/k_B T \approx 0.0$  está formado por el aporte de ambas especies, ya que las corrientes individuales se superponen.



**Figura 7.** Corriente total y parcial para  $w_{AA}/k_B T = 7.0$ ,  $w_{BB}/k_B T = w_{AB}/k_B T = 0.0$  y  $\sigma = 0.0$ . Los picos son enumerados y entre los mínimos se establecen las fases indicadas.

Sin embargo, los picos segundo y tercero solo dependen de la contribución individual de las especies B y A, respectivamente. El segundo pico se observa alrededor de  $E/k_B T \approx 10.0$  y el tercero a  $E/k_B T \approx 17.0$ . Los mínimos indican los potenciales donde se establecen estructuras ordenadas. El primer mínimo corresponde a una estructura ordenada  $c(2 \times 2)_{AB}$  (ver figura) formada por ambas especies. Dado que la especie B no interactúa, ocupa los sitios vacíos de la estructura ordenada A. En el segundo mínimo, las partículas B son expulsadas, por consiguiente, la estructura contiene solo partículas A. Esto se indica mediante las instantáneas insertadas en la figura 7. En resumen, es posible identificar la contribución de las especies a cada pico de la siguiente manera: el primer pico corresponde a ambas especies, el segundo pico a la especie B y el tercer pico solo a la especie A.

## Conclusiones

En este capítulo describimos algunos avances en el área del cálculo computacional para el estudio de electrodos modificados. Las nuevas tecnologías tratan de mejorar las prestaciones fisicoquímicas de nuevos materiales con la incorporación o modificación con partículas de diferente naturaleza en el electrodo. Como base se realizaron modelos matemáticos donde un parámetro permite controlar la cantidad de impurezas. Estos modelos fueron adaptados al lenguaje C/C++ y, con la técnica de Monte Carlo, se ejecutaron programas de simulación de donde se obtuvieron diversos parámetros que permiten la caracterización del sistema bajo estudio. En una primera instancia, desarrollamos y describimos una aproximación teórica de campo medio o Bragg-Williams donde, a diferencia de lo encontrado en la literatura específica, hemos incluido la modificación de los electrodos. Esta teoría fue comparada directamente con los resultados de las simulaciones a fin de valorar sus fortalezas y debilidades. Se analizaron diferentes escenarios: la dependencia con las interacciones atractivas y repulsivas y también la cantidad de impurezas depositadas.

A partir de los análisis realizados, podemos concluir que, a mayor concentración de impurezas, es menor la transferencia de carga y, por consiguiente, menor la corriente. La aproximación es capaz de detectar la posición y los desplazamientos de los picos hacia potenciales más altos (derecha) o más bajos (izquierda), lo que está fuertemente relacionado con la intensidad de las interacciones laterales. Por otro lado, la aproximación teórica reproduce los datos de la simulación para un rango aceptable de interacciones tanto atractivas como repulsivas. Sin embargo, para interacciones más fuertes la aproximación falla; a pesar de eso, está dentro de los márgenes esperados para el grado de aproximación considerada.

La segunda parte del capítulo está orientada al estudio

computacional de la deposición de una mezcla de dos especies cargadas, donde dos corrientes individuales contribuyen para obtener una corriente total. El modelo aplicado considera que cuando una partícula cargada A es adsorbida o una partícula B es desorbida, en ambos casos un electrón se transfiere al electrodo. Cuando la interacción lateral es nula, los picos de cada corriente están próximos y el sistema exhibe un único pico central, pero, a medida que se incrementan las interacciones, este se separa en dos y una estructura ordenada se observa en el electrodo.

En todo el estudio aquí presentado, podemos establecer ciertas conclusiones generales aplicables a sistemas con impurezas. A medida que la densidad de impurezas se incrementa, hay menos sitios disponibles para transferir la carga, por lo que la corriente disminuye. El valor de las interacciones laterales desplaza los picos en el eje horizontal E.

## Bibliografía

- Berthier, Fabienne, Braems, Isabelle, Creuze, Jérôme, Tétot, Robert y Legrand, Bernard (2004). Voltammetry and electrodeposition in the presence of attractive interactions: I. a mean-field approach. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 573(2), 365-376.
- Binder Kurt y Heermann Dieter. (2012) *Monte Carlo Simulation in Statistical Physics - An Introduction*. Berlin: Springer.
- Binder Kurt y Stauffer D. (1984). *Applications of the Monte Carlo Method in Statistical Physics, Vol. 36*. Berlin: Springer.
- Compton, Richard G., Laborda Eduardo y Ward, Kristofer R. (2013). *Understanding Voltammetry: Simulation of Electrode Processes*. London: Imperial College Press.
- Fei, Shidong, Chen Jinhua, Yao, Shouzhuo, Deng, Guohong, He, Deliang, Kuang, Yafei (2005). "Electrochemical behavior of l-cysteine and its detection at carbon nanotube electrode modified with platinum", *Anal. Biochem.*(339), 29–35.
- Glauber, Roy J. (1963). Time-dependent statistics of the Ising model. *J. Math. Phys.*4, 94–306.
- Helfferich, Friedrich G.(1985). *Principles of adsorption & adsorption processes*, by D. M. Ruthven, John Wiley & Sons, 1984, xxiv + 433 pp, *AIChE J.* 31 523–524.
- Hill, Terrence L. (1986). *An introduction to statistical thermodynamics*. Courier Corporation.
- Kehr, K. y Binder Kurt.(1987). "Simulation of Diffusion in Lattice Gases and Related Kinetic Phenomena", in: K. Binder (Ed.) *Applications of the Monte Carlo Method in Statistical Physics, Topics in Current Physics Vol. 36*. Berlin: Springer.
- Koper, Mark T. (1998). "A lattice-gas model for halide adsorption on single-crystal electrodes". *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 450(2), 189-201.
- Kuznetsov, Aleksey N., Zaikovskii, Vladimir I., Parmon, Valentin N., y Savinova, Elena R. (2012). "Site blocking with gold adatoms as an approach to study structural effects in electrocatalysis". *Electrocatalysis*, 3(3), 211-220.

- Li C.M., Sun, C.Q., Chen, W., y Pan L.(2005) "Electrochemical thin film deposition of polypyrrole on different substrates". *Surf. Coatings Technol.* (198), 474–477.
- Matsushima, Takashy (2004), "Interactions among adsorbates on metal surfaces". *Surface Science* 558, 1–3.
- Metropolis Nicholas, Rosenbluth Ariaana W., Rosenbluth Marshall N., Teller Augusta H., y Teller Edward. (1953). "Equation of state calculations by fast computing machines." *The journal of chemical physics*, 21(6), 1087-1092.
- Pinto, Oscar A., Pasinetti, Pedro M., Ramirez-Pastor, Antonio J. y Nieto, Felix D.(2015)."The adsorption of a mixture of particles with non-additive interactions: a Monte Carlo study", *Phys. Chem. Chem. Phys.* 17, 3050–3058.
- Rad Ali S., Mirabi, Ali, Binaian, Enhsan, y Tayebi, Habibollah. (2011). "A Review on Glucose and Hydrogen Peroxide Biosensor Based on Modified Electrode Included Silver Nanoparticles".*Int. J. Electrochem. Sci.*, (6), 3671 – 3683.
- Ricci, Francesco y Palleschi, G. (2005)."Sensor and biosensor preparation, optimisation and applications of Prussian Blue modified electrodes". *Biosens. Bioelectron.* (21), 389–407.
- Rikvold, Per A., Gamboa-Aldeco, Maria, Zhang, J., Han, M., Wang, Q., Richards, Howard L. y Wieckowski, Andrzej.(1995). "Computational lattice-gas modeling of the electrosorption of small molecules and ions". *Surf. Sci.* 335 389–400.
- Rikvold, Per A., Hamad, Ibrahim A., Juwono, Tjipto, Robb, Daniel T., y Novotny, Matej A(2009). *Modern Aspects of Electrochemistry No. 44*. New York: Springer.
- Speiser, Bernd (2016).*Organic Electrochemistry: Application of Digital Simulation*, 5th Edn.(205-227). Boca Raton: CRC Press.
- Tovbin, Yu K.(1997). "The Hierarchy of Adsorption Models for Laterally Interacting Molecules on Heterogeneous Surfaces".*Langmuir* 13, 979–989.
- Welch, Christine M. y Compton, Richard G., (2006) "The use of nanoparticles in electroanalysis: a review. Analytical and bioanalytical chemistry".*Anal. Bioanal. Chem.* 384 (3), 601-619.

Zolfaghari, Alireza, Villiard, Francis, Chayer, M., y Jerkiewicz Gregory. (1997). "Hydrogen adsorption on Pt and Rh electrodes and blocking of adsorption sites by chemisorbed sulfur". *Journal of alloys and compounds*, 253, 481-487.



### Apéndice I: Aproximación de Bragg-Williams

Teniendo en cuenta las energías de interacción lateral tanto partícula-partícula,  $w_{AA}$ , como partícula-impureza,  $w_{AC}$ , podemos escribir la energía configuracional total de un sistema de  $N_A$  partículas,  $N_C$  impurezas y  $M$  sitios como,

$$E_T = c(1 - \sigma)N_C \frac{N_A}{M^*} w_{AC} + \frac{c}{2} N_A (1 - \sigma) \frac{N_A}{M^*} w_{AA} + N_A \varepsilon, \quad (A1)$$

donde  $\sigma = \frac{N_C}{M}$  viene a ser la concentración de impurezas y  $M^* = M - N_C$  el número de sitios accesibles a las partículas.

Siguiendo el procedimiento estándar (Hill, 1986), el número total de configuraciones,  $\Omega$ , en que se pueden acomodar  $N_A$  partículas ubicadas sobre los  $M^*$  sitios accesibles, puede ser, en este caso, calculado de forma exacta (dado que cada partícula puede ocupar solo un sitio), obteniendo,

$$\Omega = \frac{M^*!}{N_A! (M^* - N_A)!} \quad (A2)$$

Esto nos permite escribir la denominada *función de partición* (ver Hill, 1986) para el sistema de  $N$  partículas, con una concentración de impurezas  $\sigma$ , y sobre un total de  $M$  sitios con conectividad  $c$ ,

$$Q(N_A, \sigma, M, T) \doteq \Omega q^{N_A} e^{-E_T/K_B T} \quad (A3)$$

Como es sabido, esta función de partición contiene toda la información del sistema, permitiendo derivar a partir de ella, por ejemplo, el potencial químico, a partir de la siguiente expresión,

$$-\beta \mu_{BWA} = \frac{\partial \ln Q}{\partial N_A} = \frac{1}{M} \frac{\partial \ln Q}{\partial \theta}, \quad (A4)$$

donde  $\theta = \frac{N_A}{M}$  es el cubrimiento (concentración) de partículas. Luego, según el procedimiento estándar de la aproximación de Bragg-Williams, esta última expresión nos permite obtener la isoterma ( $\mu$  como función de  $\theta$ ) que puede ser expresada como,

$$\beta\mu_{BWA} = -\ln\left(\frac{1-\sigma-\theta}{\theta}\right) + \beta c(\sigma w_{AC} + \theta w_{AA} + \varepsilon), \quad (A5)$$

y la respectiva corriente asociada,

$$i_{BWA} = \frac{\partial\theta}{\partial(\beta\mu)} = \frac{\theta(1-\sigma-\theta)}{\beta c w_{AA}(\theta - \sigma w_{AA} - \theta^2) + 1 - \sigma}. \quad (A6)$$

## CONTENIDO DE OLIGOELEMENTOS EN VEGETALES DE HOJAS VERDES Y ZANAHORIA

ANA E. LEDESMA<sup>1</sup>; JORGE N. LEGUIZAMÓN CARATE<sup>2</sup>;  
CARLOS A. WOTTITZ<sup>3</sup>; FANNY C. ÁLVAREZ ESCALADA<sup>4</sup>;  
ANTONELLA M. BUCCI<sup>5</sup>

### Resumen

La deficiencia de micronutrientes afecta a la población a escala mundial con graves efectos sobre la salud. La ingesta óptima de estos micronutrientes como sodio, potasio, magnesio, calcio, manganeso, cobre, zinc y yodo podría reducir los factores de riesgo de numerosas enfermedades. En general, existe una gran variedad de alimentos que proporcionan

1 Directora del proyecto Código 23/C158. Doctora en Ciencias Químicas. FCEyT, CIBAAL-UNSE-CONICET.

2 Ingeniero en Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE)

3 Ingeniero en Industrias Forestales. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE)

4 Licenciada en Química. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Becaria doctoral CIN (UNSE)

5 Estudiante de Licenciatura en Química. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Becaria EV-CIN (UNSE)

los niveles adecuados de minerales al organismo tales como verduras de hojas y frutas y muchas veces no se conocen. La técnica más usada para el análisis de la cantidad de micronutrientes (zinc, calcio, potasio, sodio, hierro y manganeso) en vegetales es la absorción atómica, pero los altos costos del equipamiento necesario dificultan su utilización como técnica de rutina. Por esta razón, resulta necesario optimizar técnicas analíticas sencillas y accesibles que permitan determinar oligoelementos en alimentos de manera rutinaria. En la presente investigación se proponen técnicas analíticas basadas en la espectrofotometría visible, como metodología accesible para medir el contenido de oligoelementos en muestras de hojas verdes y en raíces, provenientes de los cultivos de un grupo de pequeños productores de Santiago del Estero. Los métodos empleados para la determinación de hierro y zinc en las diferentes muestras fueron evaluados por sus parámetros estadísticos, los que fueron efectivos para su uso en determinaciones de rutina. Mediante fotometría de llama se cuantificaron los contenidos de sodio y potasio. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de los esperados para otros tipos de hojas.

Palabras clave: oligoelementos; hierro; zinc; hojas; raíces

## **Abstract**

Micronutrient deficiency affects the world's population with serious health effects. Optimal intake of these micronutrients such as sodium, potassium, magnesium, calcium, manganese, copper, zinc, and iodine could reduce risk factors for numerous diseases. In general, there is a wide variety of foods that provide adequate levels of minerals to the body such as leafy

vegetables and fruits and they are often not known. The most used technique for the evaluation of micronutrients (zinc, calcium, potassium, sodium, iron and manganese) in vegetables is atomic absorption, but the high costs of the equipment make it difficult to use it as a routine technique. For this reason, it is necessary to optimize simple and accessible analytical techniques that allow the determination of trace elements in foods on a routine basis. In this research, analytical techniques based on visible spectrophotometry are proposed as accessible methodologies to measure the content of trace elements in samples of green leaves and roots from small producers in Santiago del Estero. The methods used for the determination of Iron and Zinc in the different samples were evaluated for their statistical parameters, being effective for their use in routine determinations. By means of flame photometry, the sodium and potassium contents were quantified. The values obtained are in the range of those expected for other types of leaves.

Keywords: Trace elements; Iron; Zinc; leaves; roots

## **Oligoelementos**

Los oligoelementos son un grupo de elementos químicos que participan en muchos procesos de nuestro organismo a nivel metabólico y fisiológico (Alarcón-Corredor, 2009). Estos elementos pertenecen a la familia de los micronutrientes y dentro de ella a los minerales, los cuales se encuentran presentes en el organismo en cantidades muy pequeñas (en el orden de las partes por millón). Los principales oligoelementos presentes en el cuerpo son metales o metaloides, siendo los más comunes: manganeso (Mn), cobalto (Co), níquel (Ni), cobre (Cu), hierro (Fe), zinc (Zn), silicio (Si), yodo (I), selenio (Se), potasio (K)

y sodio (Na) (Ramírez Hernández, 2015). Estos micronutrientes son de vital relevancia para el normal funcionamiento del organismo, por lo que es importante su consumo frecuente y en niveles adecuados. Su carencia es origen de enfermedades causantes de alteraciones en el crecimiento y en la homeostasis del organismo (Ortiz Leyba y col., 2005).

## Hierro

El hierro es un nutriente indispensable para la formación de la hemoglobina, sustancia encargada de transportar el oxígeno a todas las células del cuerpo (Perutz, 1978). En el organismo, el hierro se encuentra principalmente en la sangre, pero también en los órganos y en los músculos. Una de las tantas funciones que cumple es la de activar el grupo de vitaminas B, estimular la inmunidad y la resistencia física (Valle de Frutos, 2016). El hierro está en los alimentos en dos formas: hierro hemo y hierro no hemo. La deficiencia de hierro es la causa de muchas enfermedades; la más común de ellas es la anemia ferropénica. Por ello, resulta importante conocer el contenido de hierro en alimentos tales como carnes y vegetales de hojas verde oscuro, para así estimular su consumo y prevenir la deficiencia de este mineral (Beausset y col., 1997).

## Zinc

La importancia del zinc como un nutriente esencial para la salud humana es de amplio conocimiento, forma parte de numerosas enzimas en el cuerpo humano, con rol catalítico, estructural o regulador (Rubio y col., 2007). El zinc se encuentra presente en todos los órganos, tejidos, fluidos y secreciones del cuerpo humano. Aproximadamente el 83% del zinc en el

cuerpo está en músculos y huesos, el 95% se encuentra a nivel intracelular participando en múltiples funciones fisiológicas y metabólicas; por esto su deficiencia puede ocasionar retraso en el crecimiento corporal, alteraciones esqueléticas, anorexia, alteraciones en la capacidad reproductiva y depresión de la función inmune (López de Romaña y col., 2010).

El zinc se encuentra en una variedad de alimentos, pero las mayores concentraciones se dan en los de origen animal, particularmente en los órganos y músculos de vacunos, porcinos, aves, pescados y mariscos y, en menor medida, en huevos y lácteos (Korish y Attia, 2020).

## **Potasio**

El potasio ejerce una función complementaria a la del sodio en el funcionamiento de la célula, pero a diferencia de este, el potasio es el principal catión intracelular (Pohl y col., 2013). Juega un importante papel en el mantenimiento del balance hidroelectrolítico y de la integridad celular, en la transmisión nerviosa y en la contracción celular. Por otra parte, participa en el mantenimiento de la neutralidad y la osmolalidad celular (Crawford y Harris, 2011). Las necesidades diarias se estiman en unos 3500 mg para un adulto (Turck y col., 2016).

## **Sodio**

El sodio es el determinante principal de la osmolalidad del líquido extracelular, de manera que desempeña una función clave en el control de la distribución del agua y en el equilibrio hídrico en todo el cuerpo (Verbalis, 2003). Algunas de las principales funciones del sodio son potenciar la transmisión de los impulsos nerviosos, activar diversas reacciones enzimáti-

cas, facilitar la regulación del equilibrio ácido-base, estimular la contractilidad del miocardio, el músculo esquelético y el músculo liso (Carbajal, 2013).

El sodio se encuentra en algunos alimentos en forma natural, en cantidades relativamente bajas, o añadido en forma de sal (cloruro de sodio) para su conservación y para mejorar las propiedades organolépticas de algunos alimentos (Hutton, 2002). Sin embargo, un alto porcentaje de sodio procede de la sal que se les añade a los alimentos al momento de cocinarlos y/o consumirlos. Por todo lo anterior, la dieta de la mayoría de las personas aporta más cantidad de sodio que lo que el cuerpo necesita. El elevado consumo de sal constituye actualmente un problema de salud pública, puesto que su alta ingesta está asociada a con la hipertensión arterial (Esquivel Solís y Jiménez Fernández, 2010).

La técnica más empleada por la industria para la evaluación de micronutrientes (Zn, Ca, K, Na, Ba, Mg) en hojas y raíces de vegetales es la absorción atómica. Si bien es una técnica sensible y sus límites de detección son bajos, se desperdicia aproximadamente 90% de la muestra e implica métodos destructivos de análisis. Su mayor desventaja está vinculada a los altos costos, que implican no solo la adquisición de los equipos, sino también el mantenimiento de los mismos, por ello resulta difícil su aplicación en laboratorios no especializados. Por ello, resulta imperioso proponer técnicas alternativas, de fácil acceso y económicas que permitan llevar a cabo la determinación y análisis de oligoelementos, y a la vez garanticen la reproducibilidad de los resultados en experimentos de rutina. Así en este trabajo evalúa el uso de técnicas analíticas más accesibles basadas en la espectrofotometría visible y fotometría de llama, para determinar el contenido de oligoelementos en vegetales de hojas verdes y raíces cultivadas en la región.



## Origen de las muestras estudiadas

Las muestras de hojas frescas (achicoria, albahaca y espinaca) y zanahoria fueron provistas por productores de la Feria de la Agricultura Familiar localizada en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE), quienes las cosecharon en los meses de octubre-diciembre de 2019 y febrero-marzo de 2020. La feria de la Agricultura Familiar se instala semanalmente en el patio central de la UNSE y está compuesta por pequeños productores de la zona denominada Banda Centro. Ellos ofrecen verduras y frutas frescas, panificados, conservas dulces y escabeches, tejidos y otras artesanías en distintos materiales. También se venden quesos de cabra y vaca, quesillos, miel, arrope, hierbas y plantines medicinales del monte santiagueño que se muestran en la Figura 1.



Figura 1. Verduras de la Feria de la Agricultura familiar en la UNSE

Para la preparación de las muestras se procede como se muestra en la Figura 2.

## Hojas verdes

Las hojas frescas fueron lavadas con agua de red y al mismo tiempo se clasificaron, separaron y se desecharon aquellas que

presentaban daños apreciables. Se colocaron en una bandeja donde, finalmente, se lavaron con agua destilada. Luego fueron cortadas utilizando un cuchillo de acero inoxidable, sin incluir la nervadura.

## Zanahoria

Las zanahorias fueron lavadas con agua de red y luego se pelaron. Posteriormente, se colocaron en una bandeja perfectamente limpia, donde se lavaron con agua destilada y se dejaron en papel absorbente durante 5 min, para finalmente secarlas. Luego, fueron ralladas utilizando un rallador de acero inoxidable.

Para la toma de muestra, tanto de hojas verdes como de zanahoria, se realizó un cuarteo. El método de muestreo por cuarteo (Campos y Campos, 2017) aplicado en alimentos consiste en el siguiente procedimiento:

- 1- Se homogeniza la muestra inicial.
- 2- Se extiende y separa en cuartos opuestos.
- 3- Se extraen 2 cuartos opuestos y se descartan los otros dos.
- 4- Se repite el procedimiento hasta alcanzar el tamaño de aproximadamente 10 g.



Figura 2. Preparación de las muestras: cuarteo de espinaca y zanahoria.

Todas las muestras fueron sometidas a tres etapas:

**ETAPA 1: DETERMINACIÓN DE HUMEDAD**

Este método se basa en evaporar de manera continua la humedad de la muestra y el registro continuo de la pérdida de peso, hasta que la muestra se sitúe a peso constante. Las muestras se secaron a 105 °C hasta peso constante, lo cual demandó entre 1 y 3 h, dependiendo del vegetal.

**ETAPA 2: CARBONIZACIÓN**

Las diferentes muestras se carbonizaron a llama directa con mechero hasta el cese de humo y hasta que las cenizas estuviesen en su totalidad oscuras, para asegurar la degradación de la matriz vegetal como se muestra en la Figura 3A.

**ETAPA 3: CALCINACIÓN**

Las muestras se colocaron en crisoles de porcelana y se llevaron a mufla a 500 °C hasta observar cenizas totalmente blancas (Figura 3B), lo que indica que toda la materia orgánica se degradó y que queda disponible únicamente la materia inorgánica.



Figura 3. Preparación de la muestra. a)-carbonización y b)-calcinación.

Una vez finalizada la etapa de la calcinación, las cenizas de cada uno de los vegetales utilizados se disolvieron en ácido clorhídrico 0,1 M. Estas soluciones obtenidas se utilizaron para cuantificar el contenido de cada uno de los siguientes oligoelementos: hierro, Zinc, sodio y potasio.

## **Métodos de análisis**

### *Cuantificación de hierro total*

El hierro total se determinó colorimétricamente por el método de orto-fenantrolina (Association of Official Analytical Chemistry, AOAC). En este método, las interferencias metálicas como bismuto (Bi), cadmio (Cd), mercurio (Hg), molibdeno (Mo) y plata (Ag) se precipitaron utilizando hidroxilamina, y la materia orgánica y colorantes se disminuyen mediante una combustión seca y suave con posterior disolución en ácido (López Silva y García Mercado, 2016). La orto-fenantrolina reacciona con el ion ferroso ( $\text{Fe}^{2+}$ ), lo que origina un complejo de color rojo-anaranjado muy característico (ferroína) que absorbe notablemente en la región visible del espectro electromagnético, más específicamente a los 510 nm. En medio ácido, la orto-fenantrolina se encuentra en su forma protonada como ion 1,10-fenantrolin ( $\text{FenH}^+$ ), el que se combina como ligando con iones metálicos, gracias a los electrones no compartidos de los dos átomos de nitrógeno.

### *Cuantificación de zinc*

Para la cuantificación de zinc se empleó la técnica de la 1,5-di-

fenilcarbazida que actúa como agente acomplejante del ion metálico. Este cromóforo reacciona con el ion  $Zn^{+2}$  en medio básico para dar un complejo color naranja con un máximo de absorbancia en la longitud de onda de 495 nm (Niño y col., 2016).

### *Cuantificación de Na y K*

Los metales tienen la propiedad de dar una coloración específica al ser ionizados en una fuente de calor intenso, como la emitida por la llama. Dicha ionización produce un espectro de líneas características de cada ion del metal que está excitado, por ej.: el Na a 589,3 nm y el K a 766,5 nm.

Si se ioniza una mezcla de ambos metales, las líneas espectrales quedarán separadas; esto permite distinguir a ambos fácilmente. Así ocurre aun cuando la mezcla sea muy compleja.

Esta propiedad espectrofotométrica se aprovecha para el análisis cuantitativo de los metales, por cuanto la intensidad del brillo de la línea es proporcional a su cantidad y, por consiguiente, si conseguimos aislar una línea, por ejemplo, la de K, y medir su intensidad relativa respecto a un testigo de concentración conocida, nos dará de inmediato la del problema.

### **Análisis estadístico de los datos**

Todas las medidas fueron realizadas por triplicado, las gráficas fueron procesadas por el programa Origin, mientras que los tratamientos estadísticos fueron realizados con el programa InfoStat.

## Resultados

### *Determinación de hierro total*

Se realizó la curva de calibración por duplicado con las soluciones patrones; para ello, se midieron los espectros de absorbancia (Figura 4) de los complejos  $\text{Fe}^{2+}$ -y o-fenantrolina en concentraciones de hierro que varían desde 0 ppm a 2 ppm. En los diferentes espectros se observa un máximo de absorbancia a 510 nm y el valor de la misma es directamente proporcional a la concentración de hierro.

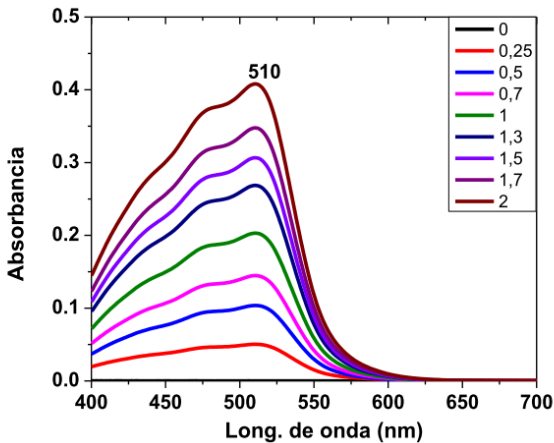


Figura 4. Espectro de absorbancia del complejo Hierro(II)-o-fenantrolina a distintas concentraciones de  $\text{Fe}^{2+}$ .

La curva de calibración se obtuvo al graficar los valores de absorbancias en función de la concentración de hierro de las soluciones patrones (Figura 5). Se observa que en todo el rango de concentraciones de trabajo se cumple la ley de Beer-Lambert, es decir, existe una relación lineal entre la absorbancia a

510 nm y la concentración de hierro en todo el rango de concentraciones utilizadas (0-2 ppm).

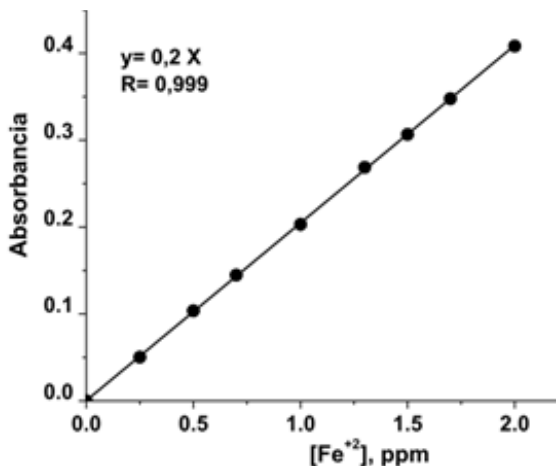


Figura 5. Curva de calibración: absorbancia (510 nm) vs concentración de Fe<sup>2+</sup>.

El coeficiente de correlación ( $R=0,999$ ) obtenido es cercano a la unidad; esto indica que las condiciones de trabajo usadas para este ensayo son las apropiadas para la cuantificación del ion metálico, puesto que existe una relación lineal entre la absorbancia y la concentración de hierro (II).

#### *Influencia del pH del medio de reacción*

Se evaluó la dependencia de la absorbancia del complejo de ferroína con el pH para las distintas muestras. Se observa que en las muestras con pH menor a 2 la absorbancia a 510 nm es menor que cuando se lleva la muestra a un pH final de 3. Esto demuestra que la formación del complejo es dependiente del

valor del pH del medio y que el pH óptimo para la determinación de Fe en las diferentes muestras es 3.

#### *Optimización de la cantidad de muestra a analizar*

Una vez determinado el pH óptimo para la reacción entre la fenantrolina y el ion metálico presente en las muestras, se estudió la influencia de la cantidad de muestra en las medidas cuantitativas. Se procesaron muestras que contenían 1, 3 y 5 gramos. Con los datos de la curva de calibración se calcularon las concentraciones respectivas de hierro en las diferentes matrices. En la Figura 6 se presenta un gráfico de cajas en el que se comparan los resultados para las tres masas analizadas y se muestra la distribución del contenido de hierro. Como puede observarse, la distribución es mayor para el análisis con 1 g de vegetal, el cual presenta un valor medio (mediana) menor que para el análisis de hierro usando las otras dos masas. Además, el 95% de los valores de hierro cuando se usa una masa de 1 g llega hasta valores bajos de hasta 0,7 ppm (Walpole y col., 2007). Los mejores comportamientos de los datos se obtienen cuando se usan masas de 3 gramos, ya que cuando se usa una masa de 5 gramos se observa una mayor variabilidad de los datos y valores superiores a los esperados según la literatura



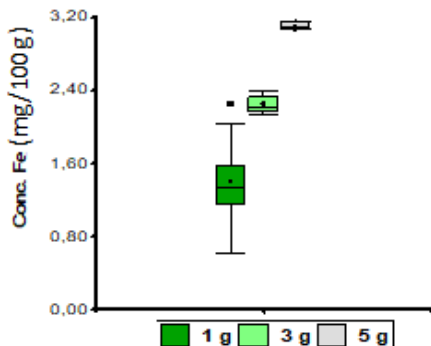


Figura 6. Gráfico de cajas de Fe, basado en medianas para muestras de 1, 3 y 5 gramos. El contenido de Fe está expresado en mg/100 g de muestra de vegetal.

En la Figura 7 se muestra la concentración de Fe (en miligramos) por cada 100 g de vegetal obtenidos en este trabajo.

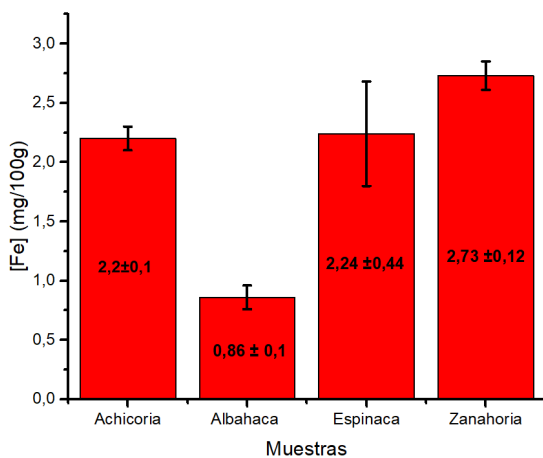


Figura 7. Cantidad de Fe presente por 100 gramos para muestras de achicoria, espinaca, albahaca y zanahoria.

A partir del análisis comparativo, se observa que la zanahoria es el vegetal con mayor contenido de Fe. Efectivamente, el valor registrado para zanahoria es 2,73 mg/100g, mayor al valor 1,51 mg/100g reportado por la base de datos de Argentina (UNLu, 2010). Si se comparan los resultados obtenidos con otros reportados en la literatura, se observa que, en general, los datos obtenidos coinciden con los publicados. En efecto, se observa que el valor de 2,24 mg/100g determinado para espinaca fresca es próximo al valor de 1,97 mg/100g reportado por López Silva y García Mercado (2016) para este vegetal. La cantidad de hierro en achicoria (2,2 mg/100 g) coincide con lo reportado para achicoria recolectadas en el monte del Chaco Argentino (Freyre y col., 2000).

Para hojas frescas de albahaca se registró un valor de  $\text{Fe}^{2+}$  de 0,86 mg/100 g del vegetal. Es importante destacar que existen muy pocos reportes de concentración de oligoelementos en vegetales de la región; sin embargo, el valor obtenido en este trabajo se encuentra por debajo de los 3,17 mg/100 g informado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2019<sup>6</sup>). Estas diferencias pueden atribuirse a diferencias climáticas, de composición de suelos y de variedades de albahaca que se cultivan en la región.

### *Determinación de zinc total*

Se realizó la curva de calibración por triplicado con las soluciones patrones que contenían entre 0 y 10 ppm de  $\text{Zn}^{2+}$ . Para ello se registraron los espectros de absorbancia del complejo difenilcarbazida-zinc en medio básico y se encontró que este

presenta un máximo de absorción a 495 nm (Figura 8).

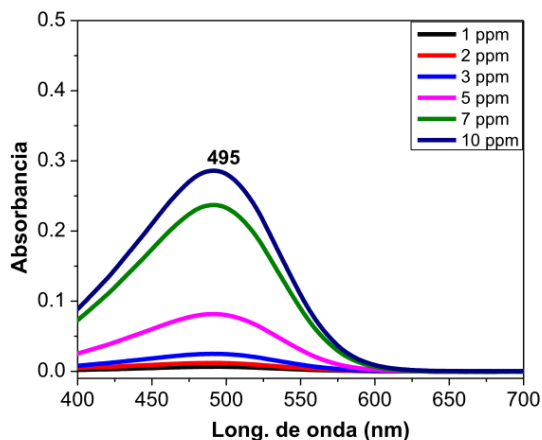


Figura 8. Espectro de absorción del complejo Zn(II)-difenilcarbazida a distintas concentraciones del ion  $Zn^{2+}$ .

Se observa que en todo el rango de concentraciones de trabajo (Figura 9) se obedece la ley de Beer-Lambert. Además, el coeficiente de correlación obtenido es cercano a la unidad. Esto indica que las condiciones de trabajo usadas para este ensayo son las apropiadas para la cuantificación del ion metálico. Los resultados obtenidos demostraron que a concentraciones menores que 10 ppm la absorbancia se relaciona linealmente con la concentración del ion metálico.

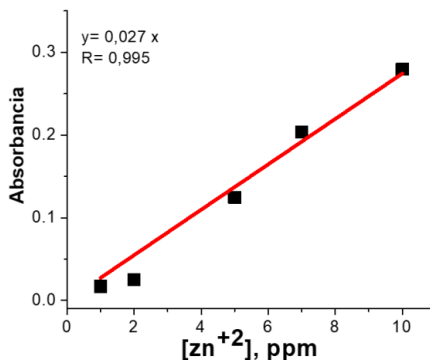


Figura 9. Curva de calibración: absorbancia en función de la concentración de  $Zn^{+2}$

En la Figura 10 se muestran las cantidades de Zn en mg por 100 g de vegetal obtenida para albahaca, espinaca y zanahorias. Las muestras en achicoria no pudieron procesarse por la época del año en que se desarrolló este experimento. Se observa que la zanahoria presenta la mayor concentración de Zn en comparación con los otros vegetales analizados.

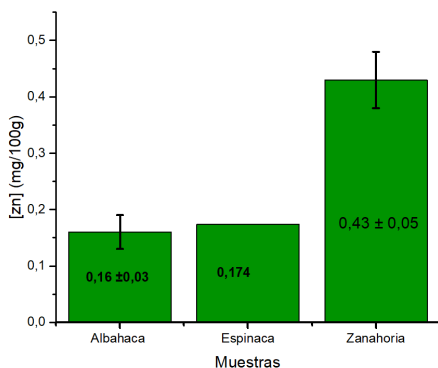


Figura 10. Cantidad de Zn presente por 100 gramos para muestras de espinaca, albahaca y zanahoria.

Los resultados obtenidos se compararon con otros reportados en la literatura y en bases de datos. Se puede observar que el valor de 0,174 mg/100 g determinado para espinaca fresca es menor al valor de 0,53 mg/100 g reportado por USDA (2019). La misma tendencia se observó para la albahaca, dado que el valor obtenido en este trabajo (0,16 mg/100 g) es bastante inferior al valor de 0,81 mg/100g reportado en la bibliografía (USDA, 2019). Al igual que en el caso del hierro, estas diferencias pueden atribuirse a variaciones en las propiedades de los suelos, en diferencias climáticas, entre otras.

### *Determinación de sodio y potasio*

A diferencia del hierro y del zinc, las cantidades de sodio y de potasio se determinaron mediante fotometría de llama. En el caso del sodio se construyó una curva de calibración utilizando patrones con concentraciones del ion entre 0 y 30 ppm y para el potasio la concentración se varió desde 0 a 0,04 ppm. En ambos casos, la relación entre la concentración y la intensidad de la emisión es lineal, como se muestra en la figura 11.

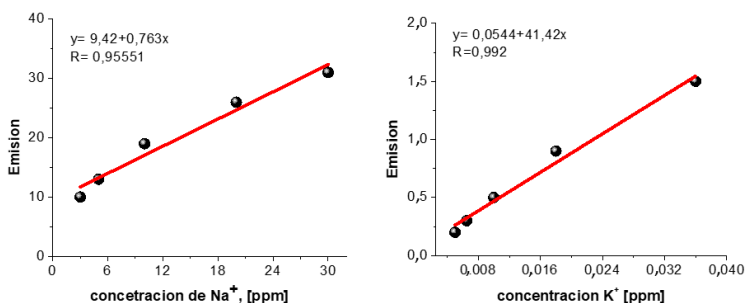


Figura 11. Curva de calibración para a)- sodio y b)- potasio.

A partir de estas curvas de calibración se determinaron las concentraciones de sodio y de potasio en las muestras de vegetales de hojas verdes y de zanahoria. La figura 12 muestra el contenido promedio de sodio detectado para cada una de las matrices vegetales; en ella se puede observar que la cantidad de sodio en albahaca es menor a los 2 mg cada 100 gramos de muestra, así mismo la espinaca fue el vegetal que presentó mayor cantidad de sodio.

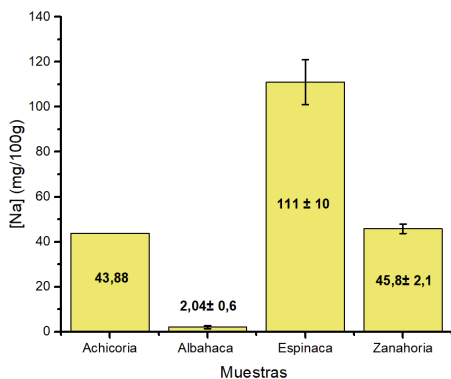


Figura 12. Cantidad de sodio (en mg) presente por 100 gramos para muestras de achicoria, espinaca, albahaca y zanahoria.

Se compararon los resultados obtenidos con los reportados por USDA (2019).

Muestra Vegetal	mg de Na <sup>+</sup> /100 g (este trabajo)	mg de Na <sup>+</sup> /100 g (A)
Achicoria	43	45
Albahaca	2,04	4
Espinaca	111	79
Zanahoria	45,8	69

Tabla 1. Comparación del contenido de sodio detectado en este trabajo y los reportados por USDA (2019)

Se puede observar que los valores de sodio encontrados en las muestras de achicoria, albahaca y zanahoria son menores que los reportados en la referencia indicada. Esta diferencia es más marcada para la albahaca, dado que la cantidad de sodio detectada para este vegetal, en este trabajo, constituyen el 50% de valor reportado en la referencia. Para la achicoria no se observaron diferencias significativas con respecto a los valores informados en bibliografía.

La figura 13 resume el contenido de potasio detectado en cada una de las muestras vegetales utilizadas en este trabajo. Para el caso del ion potasio se pudo determinar que la espinaca es el vegetal de hoja verde que posee mayor cantidad de mg de  $K^+$  por cada 100 g de muestra; se observó la misma tendencia para el sodio. Nuevamente, la albahaca presenta menor cantidad de este oligoelemento.

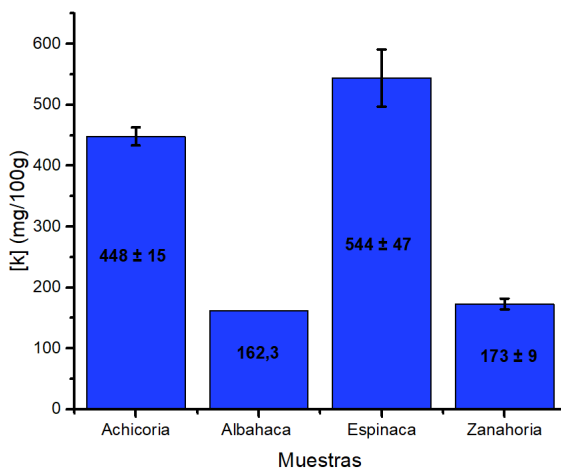


Figura 13. Cantidad de potasio (en mg) presente por 100 gramos para muestras de achicoria, espinaca, albahaca y zanahoria.

La siguiente tabla muestra los valores de potasio obtenidos en

este trabajo de investigación y los reportados por USDA (2019).

Muestra Vegetal	mg de K <sup>+</sup> /100 g (este trabajo)	mg de K <sup>+</sup> /100 g (A)
Achicoria	448	420
Albahaca	162	295
Espinaca	544	558
Zanahoria	173	203

Tabla 2. Comparación del contenido de potasio detectado en este trabajo y los informados por USDA (2019)

Se puede observar que los valores de potasio encontrados en las muestras de albahaca y zanahoria son menores que los reportados en la referencia indicada, mientras que para el caso de la achicoria y la espinaca no se observaron diferencias significativas.

#### *Aporte de los vegetales analizados a la cantidad recomendada de micronutrientes en la ingesta diaria*

Se realizó un análisis comparativo de los resultados obtenidos en esta investigación y las cantidades de hierro, zinc, potasio y sodio recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) en la ingesta diaria y la cantidad diaria recomendada de 400 g de hortalizas, por el Ministerio de Salud de la Nación Argentina.

Oligoelemento	Ingesta diaria recomendada (mg)
Hierro	18



Zinc	8
Sodio	4,7
Potasio	1,5

Tabla 3. Cantidad de micronutrientes recomendados en la ingesta diaria. Tomado de Ministerio de Salud de la Nación. Guías Alimentarias para la Población Argentina, Buenos Aires 2020

A partir de las cantidades de hierro determinadas en las muestras, se calculó el porcentaje de este mineral que aportan 100 gramos de vegetal (achicoria, albahaca, espinaca y zanahoria) con respecto a la cantidad de hierro recomendado en la ingesta diaria. Como se muestra en la Figura 14, se observó que la hortaliza que mayor porcentaje de hierro aporta respecto de la cantidad recomendada es la zanahoria con un 60,6%, mientras que el vegetal de hoja verde que mayor porcentaje aporta es la espinaca con un 49,7%, seguido de un 48,8% para achicoria y 19,1% para albahaca.

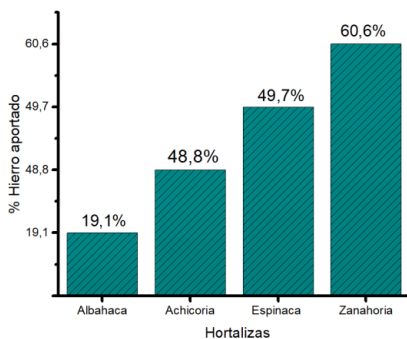


Figura 14. Porcentaje de hierro aportado por 100 gramos de hortalizas con respecto a la cantidad diaria recomendada de hierro.

Por otra parte, como se muestra en la Figura 15, la hortaliza que mayor porcentaje de zinc aporta respecto de la cantidad recomendada es la zanahoria con un 21,5%, mientras que el

vegetal de hoja verde que mayor porcentaje aporta es la espinaca con un 8,7%, mientras que el aporte de zinc proveniente de la albahaca es del 8% de la cantidad diaria recomendada.

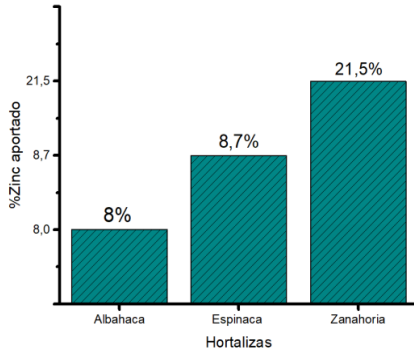


Figura 15. Porcentaje de Zn aportado por cada hortaliza con respecto a la cantidad diaria recomendada de hierro.

Se observó que la hortaliza que mayor porcentaje de potasio aporta respecto de la cantidad recomendada es la espinaca con un 46,3%, mientras que la achicoria da un valor de 38,1%, la zanahoria un 14,7% y la albahaca un 13,7% (Figura 16).

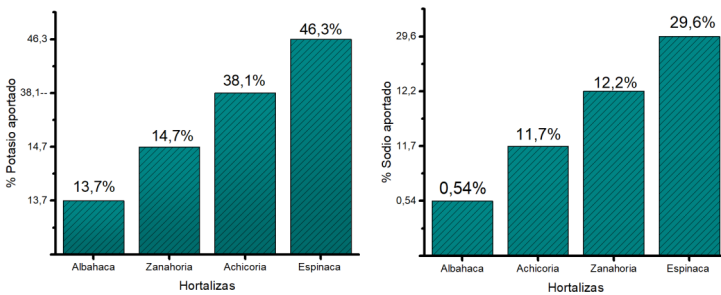


Figura 16. Porcentaje de (a) potasio y (b) sodio aportado por cada hortaliza con respecto a la cantidad diaria recomendada para su consumo

Finalmente, se observa que, de todas las hortalizas analizadas, la que mayor porcentaje de sodio proporciona, con respecto a la cantidad recomendada, es la espinaca con un 29,6%, le sigue la zanahoria con un 12,2%, la achicoria con 11,7% y la albahaca con 0,54%.

## Conclusiones

La espectrofotometría UV-visible resultó una técnica eficaz y económica para la determinación de Fe y Zn en vegetales. Los métodos empleados cumplen con los parámetros estadísticos preliminares calculados, por lo que son efectivos para su uso en determinaciones rutinarias de laboratorio. Se determinó de manera analítica el contenido de hierro y zinc en vegetales de hojas verdes y zanahoria frescos.

La fotometría permitió la cuantificación rápida y precisa de Na y K en hojas verdes frescas y zanahoria. Los valores obtenidos se encuentran en el rango de los reportados en bibliografía

La determinación de la concentración de oligoelementos realizada en este trabajo de investigación resulta de utilidad para los consumidores, ya que permitirá contar con la información necesaria para poder incorporar estos alimentos con un mejor criterio.

Es importante enfatizar, de manera general, que los resultados de este trabajo en relación al contenido de minerales no aparecen reportados en la mayor parte de la bibliografía disponible para vegetales de la región, por lo que pueden servir como un aporte al etiquetado de estos productos.

Por ello, como proyecciones de este trabajo proponemos:

- Informar a los productores locales sobre contenido de oligoelementos presentes en los vegetales cosechados.
- Extender las determinaciones realizadas a otros vegetales regionales.

- Estandarizar técnicas para la cuantificación de factores antinutricionales.
- Aplicar las técnicas estandarizadas para el análisis de factores antinutricionales presentes en vegetales regionales.

## Bibliografía

- Alarcón-Corredor, Oscar Marino (2009). "Los elementos traza". *Revista Médica de la extensión Portuguesa*. 4(3), pp. 107-124.
- Association of Official Analytical Chemistry AOAC, O. M. (s.f.). *Method AOAC 944.02. 1995* (16<sup>th</sup> Ed.). United States.
- Argenfood. Universidad Nacional de Lujan, 2010.<http://www.argenfoods.unlu.edu.ar/>
- Beausset, Stanton Indira, Sedó Masis, Patricia, Brenes Cordeiro, Haydee, Chaves Delgado, Sandra, Piedra Alfaro, María Isabel, Castro Quirós, Maritza, Gamboa Cerda, Cecilia, Monge Rojas, Rafael y Claramunt Garro, Margarita (1997). "Guías alimentarias para la educación nutricional en Costa Rica". Ministerio de Salud.
- Campos-M, Manuel, Campos-C, Rocio (2017). "Applications of quartering method in soils and foods". *International Journal of Engineering Research and Application*. 7(1), pp. 35-39.
- Carbajal, Azcona (2013). *Manual de Nutrición y Dietética*. Departamento de Nutrición. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense de Madrid. <https://www.ucm.es/nutricioncarbajal/manual-de-nutricion>
- Crawford, Ann y Harris, Helene (2011). "Equilibrio entre el sodio y el potasio". *Nursing*. 29(9), pp. 14-20.
- Esquivel Solís, Viviana y Jiménez Fernández, Maristela (2010). "Aspectos nutricionales en la prevención y tratamiento de la hipertensión arterial". *Revista costarricense de salud pública*. 19(1), pp. 42-47.
- Freyre, Marcelino, Baigorria, Claudia, Rozycki, Victor, Bernardi, Cecilia y Charpentier, Margarita (2000). "Vegetales silvestres sub explotados del Chaco argentino y su potencial como recurso alimenticio". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 50(4), pp. 394-399.
- Hutton, Tim (2002). "Sodium technological functions of salt in the manufacturing of food and drink products". *British Food Journal*. 104(2):126-152.

- Korish, M Mohamed. y Attia, Youssef (2020). "Evaluation of heavy metal content in feed, litter, meat, meat products, liver, and table eggs of chickens". *Animals*. 10(4), 727.
- López de Romaña, Daniel, Castillo, Carlos y Diazgranados, Doricela (2010). "El zinc en la salud humana-1". *Revista chilena de nutrición*. 37(2), pp. 234-239.
- López Silva, Yader y García Mercado, Jader (2016). "Cuantificación de hierro total en las hojas de espinaca (*Basella alba*) por espectrofotometría ultravioleta/visible". Monografía para optar al título de licenciado en Química farmacéutica. Laboratorio de Análisis Físico Químico de Alimentos, Departamento de Química, UNAN-Managua. <https://repositorio.unan.edu.ni/1395/1/75006.pdf>
- Niño, Gema, Bourdon, Alejandro y Gutiérrez, Dennis (2016). "Determinación de la longitud de onda máxima por barrido espectral dentro del rango ultravioleta visible (UV-VIS)". *Elementos*. 6(6), pp. 101-106.
- Ortiz Leyba, Carlos, Gómez-Tello, Vicente y Serón Arbeloa, Carlos (2005). "Requerimientos de macronutrientes y micronutrientes". *Nutrición hospitalaria*. 20, pp. 13-17.
- Perutz, Max (1978). "Hemoglobin structure and respiratory transport". *Scientific American*. 239(6), pp. 92-125.
- Pohl, Hana, Wheeler, John y Murray, Edward (2013). "Sodium and potassium in health and disease". *Met Ions Life Sci*. 13, 29-47.
- Ramírez Hernández, Javier, Bonete, Maria. y Martínez-Espinoza, Rosa (2015). "Propuesta de una nueva clasificación de los oligoelementos para su aplicación en nutrición, oligoterapia, y otras estrategias terapéuticas". *Nutrición Hospitalaria*. 31(3), pp. 1020-1033.
- Rubio, Carmen, González Weller, Dailos, Martín-Izquierdo, Raul, Revert, Consuelo, Rodríguez, Inmaculada y Hardisson, Arturo, (2007) "El zinc: oligoelemento esencial". *Nutrición Hospitalaria*. 22(1), pp. 101-107.
- Turck, Dominique, Bresson, Jean-Luis, Burlingame, Barbara, Dean, Tara, Fairweather-Tait, Susan, Heinonen, Marina y

- Naska, Androniki (2016). "Dietary reference values for potassium". *EFSA Journal*, 14(10), pp. 1-57.
- United States Department of Agriculture. Agricultural Research Service (2019). FoodData Central.
- Valle de Frutos, Pablo (2016). "Regulación hormonal de los elementos traza". Trabajo final de grado. Universidad de Zaragoza, Facultad de Medicina, Departamento de Farmacología y Fisiología. <https://core.ac.uk/download/pdf/289985477.pdf>
- Verbalis, Joseph (2003). "Disorders of body water homeostasis". *Best practice & research clinical endocrinology & metabolism*. 17(4), pp. 471-503.
- Walpole, Ronald, Myers, Raymond, Myers, Sharon y Ye, Keying (2007). Estadística no paramétrica. *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*. 8ª ed. México: Editorial Pearson Educación, 684-6.

# EMPLEO DE DOCKING MOLECULAR PARA EL ESTUDIO DE ENZIMAS BACTERIANAS Y OTRAS MOLÉCULAS DE INTERÉS BIOLÓGICO

ANA LEDESMA<sup>1</sup>; FANNY ÁLVAREZ ESCALADA<sup>2</sup>; ABRAHAM SESIN<sup>3</sup>;  
JORGE GÓMEZ<sup>4</sup>; JUAN CAROL PAZ<sup>5</sup>; ANA BUSTOS<sup>6</sup>

## Resumen

El *docking* o acoplamiento molecular es un innovador método teórico de gran utilidad para predecir *in silico* las energías y modos de enlace de los complejos intermoleculares que se establecen entre dos o más moléculas y estimar la afinidad

1 Directora del proyecto Código 23/C147. Doctora en Ciencias Químicas. FCEyT, CIBAAL-UNSE-CONICET

2 Licenciada en Química. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Becaria doctoral CIN (UNSE)

3 Estudiante de Biotecnología. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Becario EV-CIN (UNSE)

4 Estudiante de Biotecnología. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Ayudante de Investigación (UNSE)

5 Estudiante de Biotecnología. Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Becario EV-CIN (UNSE)

6 Doctora en Ciencias Biológicas, FHCSyS, FAyA, CIBAAL-UNSE-CONICET



de enlace ligando-receptor. El presente trabajo, realizado en el marco del proyecto "Análisis de propiedades estructurales y reactividades de núcleos bencénicos por interacción con sistemas biológicos", tuvo como objetivos evaluar por *docking* la interacción de enzimas beta-galactosidasas de bacterias lácticas con lactosa y de proteínas neurorreceptoras con moléculas alcaloides.

Para cumplir el primer objetivo, se construyeron modelos tridimensionales de las enzimas  $\beta$ -galactosidasas de lactobacilos probióticos empleando modelado por homología. Los modelos teóricos se crearon con el servidor Swiss Model. Se obtuvo alta compatibilidad entre el modelo atómico y su secuencia de aminoácidos, lo que indica que las estructuras obtenidas eran apropiadas. Luego, los resultados de docking permitieron predecir el tipo y las posiciones de los residuos del sitio activo en las estructuras modeladas en complejo con lactosa, así como sus constantes de inhibición y sus energías de enlace.

Por otra parte, mediante cálculos *docking* se predijeron los residuos involucrados en la interacción del alcaloide N-metilcitisina a determinados receptores nicotínicos, así como su grado de afinidad. Los resultados indicarían que este alcaloide podría actuar como antagonista de receptores nAChR en tratamientos para dejar de fumar.

En ambos casos los parámetros cinéticos obtenidos por *docking* coinciden con los datos experimentales reportados en literatura, con lo que se indica que el uso de estos cálculos computacionales puede resultar una herramienta útil para predecir propiedades de ciertas moléculas biológicas de interés y profundizar en el conocimiento de su actividad biológica.

Palabras claves: Acoplamiento molecular; modelado por homología; bacterias lácticas;  $\beta$ -galactosidasas; receptores nicotínicos

## Abstract

Molecular *docking* is an innovative theoretical method of great utility to predict *in silico* the energies and binding modes of the intermolecular complexes established between two or more molecules and to estimate the ligand-receptor binding affinity. The present work, carried out in the framework of the project "Analysis of structural properties and reactivities of benzene nuclei by interaction with biological systems" had as objectives to evaluate by *docking* the interaction of: i- beta-galactosidase enzymes from lactic acid bacteria with lactose and ii- neuroreceptor proteins with alkaloid molecules.

To meet the first objective, three-dimensional models of the  $\beta$ -galactosidase enzymes of probiotic lactobacilli were constructed using homology modeling. The theoretical models were created using the Swiss Model server. High compatibility was obtained between the atomic model and its amino acid sequence, indicating that the obtained structures were appropriate. Then, *docking* results allowed predicting the type and positions of the active site residues in the modeled structures in the complex with lactose, as well as their inhibition constants and binding energies.

On the other hand, *docking* calculations were used to predict the residues involved in the interaction of the N-methylcytisine alkaloid with certain nicotinic receptors, as well as their degree of affinity. The results would indicate that this alkaloid could act as an antagonist of nAChR receptors in smoking cessation treatments.

In both cases, the kinetic parameters obtained by docking coincide with the experimental data reported in the literature, indicating that the use of these computational calculations can be a useful tool to predict properties of certain biological

molecules of interest and to deepen the knowledge of their biological activity.

Keywords: Molecular *docking*; homology modeling; lactic acid bacteria;  $\beta$ -galactosidases; nicotinic receptors

## Introducción

El *docking* o acoplamiento molecular es un innovador método teórico de gran utilidad para predecir *in silico* las estructuras, energías y modos de enlace de los complejos intermoleculares que se establecen entre dos o más moléculas y estimar la afinidad de enlace ligando-receptor (Ledesma et al., 2017). En particular, en el campo de la biología estructural, la simulación del *docking* de una molécula de ligando a un receptor es de interés porque permite identificar la ubicación del sitio de unión del ligando y la geometría del ligando en el sitio activo. Esto posibilita que se obtenga la clasificación correcta al considerar una serie de ligandos relacionados en términos de su afinidad, o para evaluar la energía libre de unión absoluta, de manera tan precisa como sea posible.

Para realizar un *docking* computacional, las estructuras 3D experimentales o modelo de las moléculas de proteína y ligando son requeridos junto con la distribución de carga para cada molécula.

En el presente trabajo se utilizó *docking* molecular para evaluar de manera teórica la interacción de enzimas beta-galactosidasas bacterianas con lactosa, así como de proteínas neurorreceptoras con moléculas alcaloides, con el objeto de profundizar en el conocimiento de su actividad biológica. Los resultados de estos estudios fueron obtenidos en el marco del proyecto "Análisis de propiedades estructurales y reactividades de núcleos bencénicos por interacción con

sistemas biológicos”.

## Estudio de proteínas

Las proteínas son polímeros lineales de  $\alpha$ -aminoácidos que se organizan aleatoriamente para formar asociaciones estructuralmente diferentes. Representan las biomoléculas más versátiles y cumplen diversas funciones biológicas, entre las que se destacan funciones estructurales, de transporte, enzimática, entre otras (Alberts *et al.*, 2014). Las enzimas son moléculas que catalizan la mayoría de las reacciones metabólicas que ocurren en las células y presentan características como su especificidad, que las convierte en reguladoras de los procesos en los que participan. En la actualidad, numerosas enzimas han sido aisladas, purificadas, inmovilizadas y empleadas exitosamente en diversos procesos tecnológicos, lo que las convierte en un área de especial interés para la industria en general (Castañeda, 2019).

A su vez, si se revisan los procesos de comunicación celular, se encontrará que en todos ellos hay proteínas involucradas. Ejemplos de estas proteínas son los receptores de hormonas y los receptores de neurotransmisores, los cuales interactúan con sus ligandos por complementariedad entre sus estructuras y desencadenan respuestas celulares. Muchos de estos ligandos (hormonas y neurotransmisores) son, a su vez, de naturaleza proteica (Alberts *et al.*, 2014).

La estructura terciaria de las proteínas está estrechamente relacionada con su función biológica, por lo que proteínas con funciones similares muestran un cierto grado de similitud en sus diferentes niveles estructurales, incluyendo el primario. Sin embargo, dada la complejidad de las proteínas, conocer su estructura tridimensional representa un verdadero reto. La técnica actual más eficaz para determinar la estructura molecular de cualquier proteína es la difracción de rayos X sobre cristales.

Este método, desarrollado hace más de cien años, reviste de gran complejidad y consiste en hacer incidir un haz de rayos X sobre una agrupación ordenada de moléculas idénticas de proteínas, es decir, un cristal de proteínas. Las proteínas son capaces de formar cristales bajo condiciones fisicoquímicas favorables, pero su empaquetamiento deja muchos huecos que se rellenan con agua no ordenada, por lo que resultan extremadamente inestables. Por otra parte, la obtención del cristal no siempre es fácil, o incluso posible, debido sobre todo al desconocimiento o la complejidad de las interacciones fisicoquímicas a escala molecular o al uso de técnicas inadecuadas de cristalización para cada caso concreto. Si bien existen numerosos métodos para intentar cristalizar una proteína, en general implica cientos e incluso miles de experimentos para lograr el objetivo (Paneque-Quevedo, 2015).

Es por eso que, en la actualidad, se está desarrollando un nuevo campo de investigación en el área de cálculos computacionales para generar modelos estructurales de las proteínas basados en su secuencia primaria. El principal desafío es lograr resultados comparables a los obtenidos por métodos experimentales tales como RMN y rayos X, pero sin el gasto de tiempo y dinero que se requiere para estos.

### **Cálculo computacional aplicado al estudio de proteínas**

En los últimos años, la información proveniente de la genómica y la identificación de secuencias de proteínas nuevas crecen a un ritmo mucho más rápido que los datos estructurales disponibles. En este sentido, solo basta contrastar las más de 73 millones de secuencias reportadas en el *National Center of Biotechnology Information* (NCBI) a inicios del año 2020, con las 81.755 estructuras reportadas a la misma fecha en el *Protein Data Bank* (PDB). Es decir, los datos estructurales solo corres-

ponden al 0,11% de los datos de secuencia actuales. Teniendo en cuenta esta gran diferencia en los datos de secuencia contra los de estructura, en la actualidad surgen valiosas herramientas computacionales que permiten analizar una secuencia peptídica y generar modelos estructurales a partir de esta. Esto es posible debido a que las proteínas presentan patrones de plegamiento que, en muchos casos, se repiten. En efecto, las estadísticas del PDB indican que desde el año 2008 no se han reportado plegamientos nuevos, a pesar de que el número de estructuras sí ha aumentado desde entonces.

### Predicción de estructura terciaria

En la actualidad, la utilidad de diferentes métodos de predicción de estructura de proteínas ha sido demostrada en numerosas aplicaciones médicas y biológicas.

Los métodos de predicción de estructura terciaria de proteínas han sido clasificados en tres categorías: modelado de plegamiento *ab initio* (o *de novo*), modelado por comparación u homología y modelado por *threading*. A continuación, se describe el modelado por comparación empleado en el presente estudio para enzimas bacterianas.

- Modelado por comparación (MC) o por homología: con este tipo de modelado, la estructura de la proteína es construida al comparar la secuencia de la proteína de interés (blanco) con una proteína evolutivamente relacionada de estructura conocida (molde o plantilla) disponible en el PDB. Para proteínas blanco que posean homólogos en el PDB con una identidad superior al 50% se pueden construir modelos adecuados. Cuando la identidad entre la proteína blanco y su molde se encuentra entre el 30% y 50%, el modelado es menos preciso, pero con la validación adecuada resultan útiles (Jauch et al., 2007). Sin embargo, cuando la identidad entre la secuencia

blanco y el molde es menor de 30%, la precisión del modelado por cm decrece, debido a los errores en el alineamiento y a la pérdida de coincidencias significativas con el molde. Este tipo de modelado construye modelos al copiar las estructuras alineadas y al satisfacer restricciones de distancia y contacto del molde (Martí-Renom *et al.*, 2000). Un límite esencial de esta metodología es que los modelos, usualmente, se encuentran más cercanos a la estructura molde que a la estructura nativa de la proteína blanco (Tramontano *et al.*, 2003; Read *et al.*, 2007). En consecuencia, uno de los retos más importantes del modelado por MC es cómo refinar los modelos para que se parezcan más a la estructura nativa de las proteínas blanco que a la de sus moldes iniciales.

### **Construcción de modelos tridimensionales para enzimas $\beta$ -galactosidasas de bacterias lácticas**

Las bacterias lácticas (BAL) son un grupo de microorganismos representado por varios géneros con características morfológicas, metabólicas y fisiológicas en común. Actualmente, las BAL, reconocidos como microorganismos GRAS (*generally recognized as safe*, generalmente reconocidos como seguros, en español) se emplean como iniciadores de la fermentación industrial de diversos alimentos. En efecto, juegan un papel muy importante en la fermentación de productos como la leche, carne, bebidas alcohólicas y vegetales, no solo por incrementar su vida de estante (mediante la producción de ácido láctico, bacteriocinas o peróxido de hidrógeno), sino también por mejorar sus características organolépticas (textura, aroma y sabor) y por proporcionar, además, un valor nutricional añadido a los alimentos. Asimismo, algunas BAL presentan características beneficiosas para la salud (propiedades probióticas) o capacidades metabólicas extraordinarias como la producción

de enzimas (amilasas, fitasas, beta-galactosidasas, hidrolasas, etc.), vitaminas (folatos, riboflavina) o exopolisacáridos (EPS), de especial interés para la industria agroalimentaria y para la formulación de nuevos alimentos funcionales (Bustos *et al.*, 2016; Sandez Penidez *et al.*, 2020; Torres *et al.*, 2020).

Las  $\beta$ -galactosidasas (EC 3.2.1.23) son enzimas que catalizan la hidrólisis de los enlaces  $\beta$  (1-3) y  $\beta$  (1-4) de  $\beta$ -galactósidos en sus monosacáridos correspondientes. El  $\beta$ -galactósido más común es la lactosa, un disacárido formado por galactosa y glucosa unidas por enlace  $\beta$  1-4 (Vukić *et al.*, 2015). Por ello, esta actividad es muy valiosa para la producción de alimentos lácteos fermentados reducidos en lactosa, teniendo en cuenta que se estima que el 70% de la población mundial es intolerante a la lactosa (Chen *et al.*, 2008). Además, las actividades de transgalactosilación de las  $\beta$ -galactosidasas tienen aplicaciones en la producción de sustancias tales como galactooligosacáridos (GOS). Estos compuestos pueden estimular el crecimiento de cepas beneficiosas en el tracto digestivo del hospedador, condición conocida como prebiótica. Las enzimas  $\beta$ -galactosidasas también son importantes en la síntesis comercial de lactulosa, un aditivo alimentario con aplicaciones farmacéuticas (Tang *et al.*, 2011).

Estas enzimas fueron identificadas y purificadas a partir de diversas fuentes como plantas, animales y microorganismos, pero las aisladas a partir de bacterias lácticas resultan de especial interés debido a que la mayoría puede considerarse de grado alimentario.

Para potenciar sus aplicaciones en diversos campos, el conocimiento de la estructura tridimensional de estas enzimas resulta muy valioso. Sin embargo, como fuera expuesto, la determinación experimental de las estructuras de proteínas es una tarea compleja y presenta numerosos problemas técnicos. Es por ello que, en la actualidad, se dispone de muy pocas estructuras 3D de enzimas  $\beta$ -galactosidasas, algunas de *Escherichia*



*coli* y solo una del género *Lactobacillus* (L.), perteneciente a la cepa *L. plantarum* CECT 748 (Juers, 2001; Acebrón, 2017).

Por ello, como parte de este trabajo, se generaron modelos computacionales de las enzimas  $\beta$ -galactosidasas pertenecientes a las cepas lácticas *L. reuteri* L103, *L. sakei* Lb790 y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131, seleccionadas por sus potenciales propiedades probióticas. Todas las enzimas seleccionadas se encuentran caracterizadas genética y/o bioquímicamente (Schmidt *et al.*, 1989; Nguyen *et al.*, 2006; Iqbal *et al.*, 2011).

Las enzimas  $\beta$ -galactosidasas de *L. reuteri* L103 y *L. sakei* Lb790 son heterodímeros codificados por dos genes cromosomales parcialmente superpuestos *lacL* (subunidad larga) y *lacM* (subunidad pequeña) (Tabla 1), donde el sitio activo se encuentra en la subunidad mayor. Las tres enzimas modeladas pertenecen a la gran familia de las GH2 que, al igual que las de la familia GH1, presentan como sustrato natural la lactosa. Se ha reportado, además, que las enzimas GH2, incluida la de *L. reuteri*, sintetizan GOS con diferentes tipos de ligamiento [mezcla de  $\beta$ -(1,6) y  $\beta$ -(1,3)] (Talens-Perales *et al.*, 2016).

Por otra parte, el gen *lacZ* de *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131 codifica un monómero de 114 kDa (Schmidt *et al.*, 1989). Las estructuras secundarias de las enzimas, calculadas empleando el programa PyMOL, se presentan en la Tabla 1. En general, se puede observar que todas las estructuras presentan porcentajes bajos de alfa hélice con predominio de estructura desordenada, lo cual indica una estructura secundaria poco definida.

Organismo	Gen	Familia	Subunidades	Estructura
<i>L. reuteri</i> L103	lacL/lacM	GH2	"L" = 628 aa, 73,6 kDa "M" = 319 aa, 35,6 kDa <sup>a</sup>	$\alpha$ = 15 % $\beta$ = 24 % $\delta$ = 19 % d = 42 %
<i>L. sakei</i> Lb790	lacL/lacM	GH2	"L" = 625 aa, 72 kDa "M" = 318 aa, 35 kDa <sup>b</sup>	$\alpha$ = 15 % $\beta$ = 22 % $\delta$ = 11 % d = 52 %
<i>L. delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i> B131	lacZ	GH2	1006 aa, 114 kDa <sup>c</sup>	$\alpha$ = 10 % $\beta$ = 29 % $\delta$ = 23 % d = 38 %

<sup>a</sup>Nguyen *et al.*, (2006); <sup>b</sup>Iqbal *et al.*, (2011); <sup>c</sup>Schmidt *et al.*, (1989).  $\alpha$  = hélice alfa,  $\beta$  = lámina beta,  $\delta$  = giro y d = desordenada

Tabla 1. Principales características de las  $\beta$ -galactosidasas modeladas

Los modelos teóricos se crearon con el servidor Swiss model<sup>7</sup>. El programa proporciona una representación gráfica, así como cálculos numéricos para los alineamientos de las estructuras. Las salidas de los modelos generados se descargaron como archivos PDB para su posterior análisis, optimización y visualización mediante el programa PyMOL. Posteriormente, los modelos fueron validados utilizando los servidores Verify3D (Lüthy *et al.*, 1992) y PROCHECK (Laskowski, 1993).

Se utilizó como plantilla la estructura de la  $\beta$ -galactosidasa de *Thermotoga maritima* que, para todos los casos, presentó un porcentaje de identidad > 30%. Para *L. reuteri* L103 se obtuvo un 37,71% de identidad, mientras que *L. sakei* Lb790 y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131 mostraron un 36,92 y 36% de identidad, respectivamente (Fig. 1). La enzima  $\beta$ -galactosidasa de *L. plantarum* CECT 748, única homóloga de bacterias lácticas cristalizada a la fecha, fue evaluada como plantilla potencial, sin embargo, no resultó apropiada.

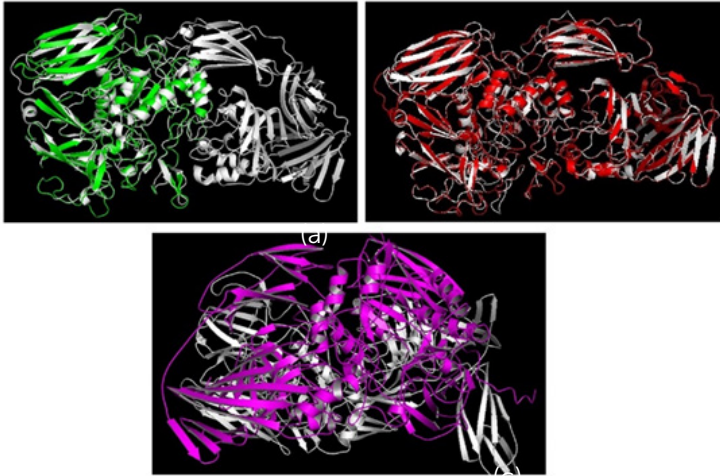


Figura 1. Estructura 3D de las  $\beta$ -galactosidasas modeladas de *L. reuteri* L103 (a), *L. sakei* Lb790 (b), *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131 (c) y comparadas con la enzima *Thermotoga maritima* (representada en blanco, en todas las figuras) que fue empleada como molde.

### Ensayos de docking molecular de enzimas $\beta$ -galactosidasas

Los estudios de *docking* molecular tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre los mecanismos moleculares implicados en el reconocimiento de las diferentes enzimas con su sustrato y, en particular, los residuos involucrados en la interacción. Estos datos pueden servir como base para estudios de mutagénesis dirigida, entre otras aplicaciones relacionadas con la ingeniería enzimática.

En este trabajo se realizaron ensayos de *docking* molecular de la enzima  $\beta$ -galactosidasas de las cepas *L. reuteri* L103, *L. sakei* Lb790 y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131, empleando los modelos moleculares obtenidos en el punto anterior.

Estos ensayos permitieron predecir los residuos que participan de la unión de la lactosa a la enzima. La estructura molecular del sustrato lactosa empleado en este estudio se recuperó de PubChem (CID 6134).

El sitio de unión entre las enzimas y sus ligandos se exploró mediante *docking* molecular con el programa AutoDock 4.2, empleando el algoritmo genético de Lamarck (LGA). Las enzimas se consideraron rígidas y se permitió que todos los enlaces torsionales rotativos del ligando se relajaran durante los cálculos de *docking*.

Es importante destacar que las simulaciones de *docking* molecular se realizaron utilizando un solo monómero (correspondiente a la subunidad mayor en las cepas L103 y Lb790), ya que allí se encuentran los residuos que interactúan directamente con el sustrato (Juers *et al.*, 2001).

Los resultados indican que las estructuras modeladas fueron acopladas a lactosa con valores de energías negativos, lo que sugiere que el método usado fue apropiado. Como se observa en la Tabla 2, los valores de energías de enlace obtenidos fueron de -4,3 kcal/mol para *L. reuteri* L103, de -3,71 kcal/mol para *L. sakei* Lb790 y de -3,91 kcal/mol para *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131. Por otra parte, las constantes de inhibición obtenidas fueron de 0,562, 1,92 y 1,36 mM para *L. reuteri*, *L. sakei* y *L. delbrueckii*, respectivamente. Este último parámetro corresponde al recíproco de la constante de unión, por lo que cuanto menor sea su valor mayor será la constante de unión enzima-sustrato. Por lo tanto, los valores de energía libre más negativa y la menor constante de inhibición sugieren que la enzima homóloga de *L. reuteri* tiene la mayor afinidad hacia la lactosa (Tabla 2). Estos resultados coinciden con los trabajos experimentales publicados para estas enzimas donde se reporta un valor de constante de Michaelis-Menten ( $K_m$ ) de 13 mM para *L. reuteri* (Nguyen *et al.*, 2006) y de 20 mM para *L. sakei* (Iqbal *et al.*, 2011).

Además, los cálculos de *docking* molecular indican que la lactosa se une a una cavidad semiabierta en el dominio catalítico de la enzima, en una estructura desordenada que fácilmente permite el ingreso de la lactosa. En el caso de la  $\beta$ -galactosidasa de *L. reuteri* L103, el ligando lactosa interacciona de manera longitudinal con la enzima en un sitio con un alto contenido de estructura desordenada y un cierto grado de alfa hélice. Por el contrario, en el caso de *L. sakei* Lb790 se une en un sitio con estructura desordenada, con contribución de estructura de lámina beta. Ambas cavidades son altamente hidrofílicas debido a la proximidad al medio con el solvente. Es importante destacar que la lactosa presenta una estructura hidrófila debido a la cantidad de grupos OH presentes en su estructura. Por su parte, la enzima homóloga de *L. delbrueckii* se une en una región desordenada, localizada en la región de interacción con el solvente.

Como se muestra en la Figura 2a, para el caso de  $\beta$ -galactosidasa de *L. reuteri* L103, el residuo GLU464 interactúa formando dos puentes hidrógeno con la lactosa con distancias de enlace de 2,11 Å y 1,77 Å. Este residuo ácido es equivalente al GLU461 reportado como sitio activo en  $\beta$ -galactosidasa de *E. coli* (Vukić *et al.*, 2015). También los residuos SER416, ALA418 y GLU494 forman puente hidrógeno con longitudes de interacción de 2,13 Å, 1,97 Å y 1,77 Å, respectivamente (Tabla 2). Por último, los residuos TRP420, TYR470 y HIS498 forman interacciones hidrofóbicas hacia la lactosa. Estos resultados sugieren que la  $\beta$ -galactosidasa de *L. reuteri* L103 tiene una fuerte capacidad de unión a la lactosa lo que facilitaría su hidrólisis.

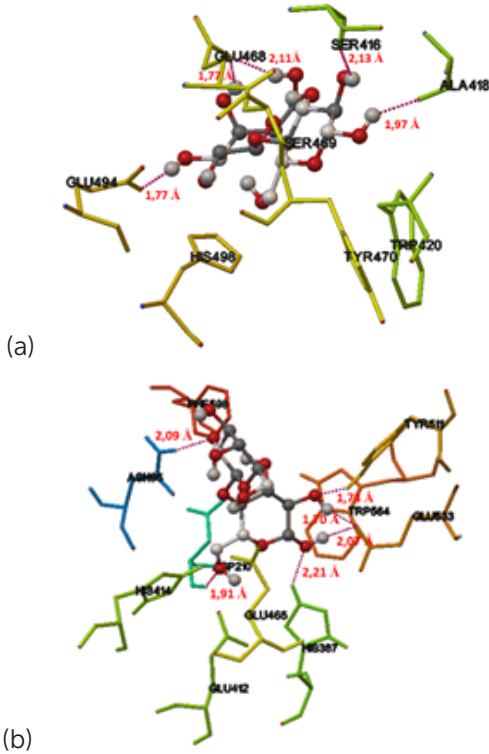


Figura 2. Docking molecular de  $\beta$ -galactosidasa de *Lactobacillus reuteri* L103 (a) y de *Lactobacillus sakei* Lb790 (b) modeladas en unión con lactosa. Las líneas de puntos indican las interacciones puente hidrógeno entre las enzimas y la lactosa.

Por su parte, en la enzima de *L. sakei* Lb790, mostrada en la Fig. 2b, los residuos ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 y GLU533 forman puente hidrógeno con la lactosa con distancias de interacción de 2,09 Å, 1,91 Å, 2,21 Å, 1,73 Å, 1,70 Å y 2,07 Å, respectivamente. Además, los residuos PHE598, HIS414, GLU412, GLU465 participan de interacciones hidrofó-

bicas con el sustrato (Tabla 2). Es importante resaltar que el residuo GLU533 es el equivalente a GLU537 reportado como nucleófilo de sitio activo en la  $\beta$ -galactosidasa de *E. coli* (Vukić *et al.*, 2015), mientras que solo interacciona hidrofóbicamente con GLU465. De manera interesante, de acuerdo con los resultados obtenidos, el residuo GLU465 de esta enzima no forma enlace puente hidrógeno con la lactosa.

Por último, la enzima de *L. delbrueckii* interacciona con la lactosa en una región equivalente a las otras dos enzimas, a través de los residuos GLU518, TYR519, THR521, ASN522, PRO524, ALA525, LYS526 y PRO527 (Tabla 2). De todos los residuos antes mencionados, solo GLU518 forma un puente hidrógeno con el grupo OH de la lactosa con una distancia de 2,53 Å. Probablemente este residuo se corresponda con el GLU537 reportado como nucleófilo del sitio activo de la  $\beta$ -galactosidasa de *E. coli* (Vukić *et al.*, 2015).

Estos resultados indicarían que, a pesar de la mayor cantidad de puente hidrógeno para la enzima *L. sakei*, la formación de puente hidrógeno con GLU465 estabiliza más fuertemente el complejo para la  $\beta$ -galactosidasa de *L. reuteri* L103 con la lactosa, lo que se refleja en su menor energía en relación al complejo enzima-sustrato de *L. sakei* Lb790, que solo presenta una interacción hidrofóbica con este residuo. Observaciones similares pueden inferirse a partir del residuo GLU518 para *L. delbrueckii*, quien tiene una energía de unión comprendida entre los valores de las otras enzimas (Tabla 2).

Estos resultados de *docking* molecular permiten identificar los residuos implicados en la hidrólisis de lactosa por parte de estas enzimas de creciente interés.

Parámetros	<i>L. reuteri</i> L103	<i>L. sakei</i> Lb790	<i>L. delbrueckii</i> B131
Energía de enlace (kcal/mol)	-4,3	- 3,71	-3,91
Constante de inhibición (mM)	0,562	1,92	1,36
Constante de Michaelis-Menten (Km, mM)	13 <sup>a</sup>	20 <sup>b</sup>	N.D.
Principales residuos involucrados en la interacción/ Tipo de interacción	GLU464, SER416, ALA418 y GLU494 (Puentes hidrógenos).  TRP420, TYR470 y HIS498 (Interacciones hidrofóbicas)	ASN95, ASP210, HIS387, TYR511, TRP564 y GLU533 (Puentes hidrógenos).  PHE598, HIS414, GLU412, GLU465 (Interacciones hidrofóbicas)	GLU518 (Puente hidrógeno), TYR519, THR521, ASN522, PRO524, ALA525, LYS526 y PRO527 (Interacciones hidrofóbicas)

N. D.: no determinado, <sup>a</sup>Nguyen *et al.*, (2006), <sup>b</sup>Iqbal *et al.*, (2011)

Tabla 2. Constante de inhibición, energía de enlace y principales residuos involucrados en la interacción de la enzima  $\beta$ -galactosidasa de *L. reuteri* L103, *L. sakei* Lb790 y *L. delbrueckii* B131 con lactosa

## Ensayos de *docking* molecular de receptores nicotínicos de acetilcolina (nAChR) con el alcaloide N-metilcitisina

Los receptores nicotínicos de acetilcolina son canales iónicos activados por ligandos que median la neurotransmisión química rápida en la unión neuromuscular y tienen diversas funciones de señalización en el sistema nervioso central. Dentro de ellos, el  $\alpha 4\beta 2$  humano es el subtipo de receptor nicotínico más abundante en el cerebro (Rucktooa, 2012). Estos receptores responden a numerosas moléculas neuroactivas no-endógenas, de las cuales la nicotina, una planta alcaloide responsable de la adicción al tabaco, es la más conocida.

Un nuevo tratamiento para dejar de fumar es el uso de moléculas agonistas parciales del receptor nicotínico acetilcolina (nAChR). Estos agonistas, como el alcaloide natural citisina, poseen efectos terapéuticos, disminuyen el refuerzo de la nicotina y reducen el placer de fumar (Dwoskin, 2009). De allí



que en este trabajo se evalúa si el alcaloide metilado de esa molécula, la N-metilcitisina, conserva aún esa propiedad.

Para estudiar la base de la unión por afinidad del alcaloide N-metilcitisina a nAChR, se realizaron cálculos de *docking* molecular sobre complejos de esa molécula con las proteínas (A4)<sub>2</sub> (B2)<sub>3</sub> humana (PDB:5KXI) y AcAChBP (pdb:4bqt), obtenidas a partir de la base de datos de proteínas<sup>8</sup>. Para ello, se utilizó la estructura del alcaloide N-metilcitisina previamente optimizada con cálculos cuánticos (B3LYP/6-311++G\*\*) usando el programa Gaussian16.

El sitio de unión entre las enzimas y sus ligandos se exploró mediante *docking* molecular con el programa AutoDock 4.2, empleando el algoritmo genético de Lamarck (LGA).

Los cálculos de *docking* molecular indican que el alcaloide N-metilcitisina se une en una cavidad con un alto porcentaje de estructura helicoidal y desordenada cerca del *loop* de cisteína característico de receptores nicotínicos, que fácilmente permite el ingreso del alcaloide en ambos receptores, tal como se muestra en la Fig. 3.

Para ambos receptores, se observa que el anillo de piperidina de la N-metilcitisina está orientado hacia el lado de la estructura desordenada del sitio de unión del ligando, mientras que el anillo de piridona está orientado hacia el lado de alfa hélice.

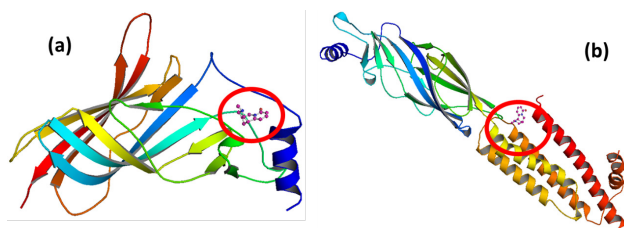


Figura 3. Sitios de unión del alcaloide N-metilcistisina a los receptores acetilcolina. Proteína nAChR (A) Y PROTEÍNA (A4)<sub>2</sub>(B2)<sub>3</sub> humana (b).

La Fig. 4 muestra una vista alrededor del sitio de unión del ligando con N-metilcistisina acoplado en cada complejo, mientras que la Tabla 3 muestra los parámetros de unión correspondientes.

Receptor	Energía de unión (kcal/mol)	Constante de unión ( $\mu\text{M}$ )
$\alpha 4\beta 2$ receptor (4BQT)	-5,91	46,85
Nicotínico humano $\alpha 4\beta 2$ (5KX1)	-6,22	27,66
4BQT-Citisisina*	-	$0,17 \cdot 10^{-3}$

\* A partir de referencia (Rucktooa, 2012)

Tabla 3. Datos de unión de N-metilcistisina con los dos receptores

Los valores de energías de enlace obtenidos indican que N-metilcistisina se une más fuertemente al receptor nicotínico humano  $\alpha 4\beta 2$ , mientras que los cálculos predicen que este receptor tiene la menor constante de inhibición ( $27,66 \mu\text{M}$ ). Como fuera expuesto, esta última se corresponde con el recíproco de la constante de unión, por lo que cuanto menor sea su valor mayor será la constante de unión enzima-sustrato. Por lo tanto, estos resultados de energía libre más negativa y de menor constante de inhibición, sugieren que el receptor nicotínico humano  $\alpha 4\beta 2$  tiene la mayor afinidad hacia N-metilcistisina (Tabla 3).

Comparando los valores de constante de inhibición para la unión de N-metilcitisina y citisina a AcAChBP, se observa que la N-metilación evidencia una pérdida de afinidad con este receptor. La N-metilcitisina se une en el sitio del neurotransmisor clásico en la interfaz  $\alpha$ - $\beta$ , con un  $K_i$  similar unido a la nicotina (Rucktooa, 2012).

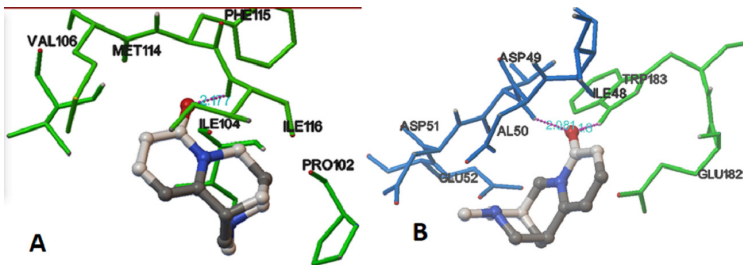


Figura 4. Estudios de *docking* molecular. Modo de enlace predicho a 4BQT (a) y 5KXI (b) con N-metilcitisina. Los residuos de la interacción se muestran como *sticks* y los ligandos como pelotas y líneas. Los enlaces de hidrógeno se marcan con líneas rosas punteadas

Los cálculos predicen que el receptor Ac-AChBP interactúa con N-metilcitisina a través de interacciones hidrofóbicas en el sitio de unión conformado por los residuos PRO102, ILE104, VAL106, MET114, PHE115, ILE116 y se estabiliza mediante enlace de hidrógeno entre el grupo NH de ILE116 y el grupo carbonilo del anillo de piridona con una distancia de 2,17 Å. La presencia de los residuos ILE104 y ILE116 (este último estabilizado por un enlace de hidrógeno) también fue observada en la estructura cristalina del complejo de citisina con este receptor (Rucktooa, 2012). Estos resultados confirman que N-metilcitisina interactúa en el mismo sitio de unión que citisina, por lo que se justifica la estabilización de este complejo.

Los estudios de *docking* molecular de N-metilcitisina con el receptor  $\alpha$ 4 $\beta$ 2 nAChR humano indican que interactúa con los residuos hidrófobos ILE48, VAL50, GLU182 y TRP183 y con los

residuos polares ASP49, ASP50, GLU52 formando dos enlaces de hidrógeno entre el grupo carbonilo del receptor y el grupo NH de la cadena principal de VAL50 y TRP183 con distancias de 2,08 y 1,8 Å, respectivamente. La mayor cantidad de puentes hidrógenos favorecen la interacción en comparación con el otro receptor.

Este estudio basado en *docking* molecular sugiere que el alcaloide N-metilcitisina podría actuar como agonista parcial de nAChR y se requerirían estudios adicionales para comprender mejor sus mecanismos de acción.

## Conclusiones

Los estudios de acoplamiento molecular tienen el potencial de proporcionar información valiosa sobre los residuos involucrados en las interacciones enzima-sustrato, así como receptor-ligando.

En este trabajo, los resultados de acoplamiento permitieron predecir las posiciones de los residuos del sitio activo en las estructuras modeladas de  $\beta$ -galactosidasa de *Lactobacillus reuteri* L103, *Lactobacillus sakei* Lb790 y *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B131 en complejo con lactosa, proporcionando un marco para examinar la base molecular de la interacción.

Por otra parte, mediante cálculos *docking* se pudo predecir el grado de afinidad del alcaloide N-metilcitisina a determinados receptores nicotínicos a fin de postular sus acciones terapéuticas. Los resultados indicarían que este alcaloide podría actuar como antagonista de receptores nAChR en tratamientos para reducir el consumo de nicotina.

En ambos casos, los parámetros cinéticos obtenidos por *docking* coinciden con los datos experimentales reportados en literatura.

El presente estudio refleja que el uso de cálculos computa-

cionales de *docking* molecular puede resultar una herramienta útil para predecir propiedades de ciertas moléculas biológicas de interés.

### **Agradecimientos**

Al CICyT-UNSE por el financiamiento del Proyecto 23/C147, al CIN por las becas de estudiantes y doctoral y al CONICET.

## bibliografía

- Acebrón, I., Plaza-Vinuesa, L., de Las Rivas, B., Muñoz, R., Cu-mella, J., Sánchez-Sancho, F. y Mancheño, J. M. (2017). "Structural basis of the substrate specificity and instability in solution of a glycosidase from *Lactobacillus plantarum*". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Proteins and Proteomics*. 1865 (10), pp. 1227-1236.
- Aehle, W. (Ed.). (2007). *Enzymes in industry: production and applications*. John Wiley & Sons.
- Alberts y cols. (2014). *Biología Molecular de la Célula*. 6ta. Edición. Editorial Garland Science.
- Bustos A. Y., Font de Valdez G., Raya R. y Taranto M.P. (2016). "Genetic characterization and gene expression of bile salt hydrolase (*bsh*) from *Lactobacillus reuteri* CRL 1098, a probiotic strain". *Int J Genomics Proteomics Metabolomics Bioinformatics*.. 1 (1), pp.1-8.
- Cantarel, B. L., Coutinho, P. M., Rancurel, C., Bernard, T., Lombard, V. y Henriessat, B. (2009). "The carbohydrate-active enzymes databases (CAZy): an expert resource for glycogenomics". *Nucleic Acids Research*. (37), pp. 223-238.
- Casas, I. A. y Dobrogosz, W. J. (2000). "Validation of the probiotic concept: *Lactobacillus reuteri* confers broad-spectrum protection against disease in humans and animals". *Microbial Ecology in Health and Disease*. . 12 (4), pp. 247-285.
- Castañeda, María Teresita. (2019). *Enzimas de interés biotecnológico*. Universidad Tecnológica Nacional-Facultad Regional La Plata.
- Chaillou, S., Champomier-Verges, M. C., Cornet, M., Crutz-Le Coq, A. M., Dudez, A. M., Martin, V., Beaufils, S., Darbon-Rongere, E., Bossy, R., Loux, V. y Zagorec M. (2005). "The complete genome sequence of the meat-borne lactic acid bacterium *Lactobacillus sakei* 23K". *Nature Biotechnology*. 23, pp. 1527-1533.
- Dwoskin, L. P., Smith, A. M., Wooters, T. E., Zhang, Z., Crooks, P. A., and Bardo, M. T. (2009). "Nicotinic receptor-based the-

- rapeutics and candidates for smoking cessation". *Biochem. Pharmacol.* (78), pp. 732–743.
- Gaussian 16, Revision C.01, M. J. Frisch, G. W. Trucks, H. B. Schlegel, et al.. (2016).
- Iqbal, Sanallah; Nguyen, Thu-Ha; Nguyen, Hoang Anh; Nguyen, Tien Thanh; Maischberger, Thomas; Kittl, Roman y Haltrich, Dietmar (2011). "Characterization of a heterodimeric GH2  $\beta$ -galactosidase from *Lactobacillus sakei* Lb790 and formation of prebiotic galacto-oligosaccharides". *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 59 (8), pp. 3803-3811.
- Jauch R, Yeo HC, Kolatkar PR y Clarke ND. (2007). "Assessment of casp7 structure predictions for template free targets". *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*. 69 (S8), pp. 57-67.
- Juers, D.H., Heightman, T.D., Vasella, A., Mccarter, J.D., MacKenzie, L., Withers, S.G. y Matthews, B.W. (2001). "A structural view of the action of *Escherichia coli* (*lacZ*) beta-galactosidase. *Biochemistry*. (40), pp. 14781–14794.
- Ledesma A.E., Chemes D.M., Frías M. y Guauque Torres M. (2017). "Spectroscopic characterization and docking studies of ZnO nanoparticle modified with BSA". *Applied Surface Science*. (412), pp. 177–188.
- Martí-Renom M.A., Stuart A.C., Fiser A., Sánchez R., Melo F. y Šali A. (2000). "Comparative protein structure modeling of genes and genomes". *Annual review of biophysics and biomolecular structure*. 29(1), pp. 291-325.
- Nguyen T.H., Splechtna B., Steinböck M., Kneifel, W., Lettner, H. P., Kulbe, K. D., Haltrich, D. (2009). "Purification and characterization of two novel beta-galactosidasas from *Lactobacillus reuteri*". *Journal of Agriculture Food Chemistry*. 54 (14), pp. 4989-4998.
- Paneque-Quevedo, A. A. (2015). "El cristal, la red tridimensional natural de difracción". *Rev. Cubana Quím.* 27 (2), pp. 147-162.
- Read RJ y Chavali G. (2007). "Assessment of casp7 predictions in the high accuracy template-based modeling category".

- Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*. 69 (S8), pp. 27-37.
- Rucktooa, P. Haseler, C. A. Van Elk, R., Smit, A. B., Gallagher T. y Sixma, T. K. (2012). "Structural Characterization of Binding Mode of Smoking Cessation Drugs to Nicotinic Acetylcholine Receptors through Study of Ligand Complexes with Acetylcholine-binding Protein". *Journal of Biological Chemistry*. (287), pp. 23283–23293.
- Sandez Penidez, Sergio, Velasco Manini, Marina, Gerez, Carla L. y Rollán, Graciela. (2020). "Partial characterization and purification of phytase from *Lactobacillus plantarum* CRL1964 isolated from pseudocereals". *Journal of Basic Microbiology*. (60), pp. 787 - 798.
- Schmidt B.F., Adams R.M., Requadt C., Power S. y Mainzer S.E. (1989). "Expression and nucleotide sequence of the *Lactobacillus bulgaricus* beta-galactosidase gene cloned in *Escherichia coli*". *J Bacteriol*. 171 (2), pp. 625-635.
- Torres, A. C., Elean, Mariano, Hebert, Elvira María, Saavedra, Lucila y Taranto, María Pía. (2020). "Metabolic shift in the production of corrinoid compounds by *Lactobacillus coryniformis* in the absence of purines". *Biochimie*. (168), pp. 185-189.
- Tramontano A. y Morea V. (2003). "Assessment of homology-based predictions in casp5". *Proteins: Structure, Function, and Bioinformatics*. 53 (S6), pp. 352-368.
- Vega Castro, N. A. y Reyes Montaña, E. A. (2020). Introducción al análisis estructural de proteínas y glicoproteínas. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Primera edición
- Vukić V, Hrnjez D., Milanović S., Iličić M., Kanurić K. y Petri E. (2015). "Modeling and Docking Analysis of  $\beta$  -galactosidase Enzymes from Commercially Important Starter Cultures Used in the Dairy Industry". *Food Biotechnology*. (29), pp. 248–262.



# PROPIEDADES ESTABILIZANTES Y EMULSIFICANTES DE HIDROCOLOIDES OBTENIDOS DE RECURSOS NATURALES AUTÓCTONOS Y SUBUTILIZADOS DEL NOROESTE ARGENTINO

LAURA ITURRIAGA<sup>1</sup>; MATÍAS ALANCAY<sup>2</sup>;  
ANABEL AYUNTA<sup>3</sup>; CLAUDIA QUINZIO<sup>4</sup>

## Resumen

En nuestro país la mayor parte de los hidrocoloides utilizados en la industria alimentaria, farmacéutica y textil son importados, a pesar de la existencia de materias primas nacionales que podrían ser utilizadas para su obtención. En este sentido, el grupo de investigación extrajo hidrocoloides de fuentes autóctonas como el mucílago de plantas de tuna y de fuentes subutilizadas de la región NOA tales como pectinas de resi-

1 Directora del Proyecto. Dra. en Ciencias. Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos. CONICET-UNSE.

2 Dr. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos. CONICET-UNSE.

3 Dra. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos. CONICET-UNSE.

4 Dra. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. Centro de Investigación de Biofísica Aplicada y Alimentos. CONICET-UNSE.

duos de la industrialización del tomate y proteína de suero de residuos de quesería (suero de leche caprina) y estudió su potencial uso como reemplazo de los hidrocoloides tradicionalmente empleados en la industria alimentaria. Se profundizó en el estudio de las propiedades viscosantes, emulsificantes y estabilizantes de los biopolímeros mencionados para su empleo en el diseño de matrices estructuradas para su aplicación en alimentos.

Se estudiaron las propiedades estabilizantes y emulsificantes del mucílago en emulsiones o/w preparadas en base a sus suspensiones acuosas, se obtuvieron moléculas conjugadas proteína-polisacárido (proteína de suero de leche y pectina) con propiedades emulsificantes mejoradas y, por último, se evaluaron las propiedades emulsionantes de un concentrado de proteínas de suero de leche caprina. Para el estudio de las propiedades estabilizantes y emulsificantes se utilizaron métodos turbidimétricos, reológicos y ensayos estáticos. Los resultados obtenidos muestran al mucílago de la tuna, a la pectina extraída de residuos de la industria tomatera y a la proteína de suero de leche de cabra con propiedades estabilizantes y emulsificantes interesantes como potenciales reemplazo de hidrocoloides comerciales.

Palabras clave: Hidrocoloides; fuentes autóctonas; recursos subutilizados; estabilizantes; emulsionantes

## Abstract

In our country, most of the hydrocolloids used in the food, pharmaceutical and textile industries are imported, despite the existence of national raw materials that could be used to obtain them. In this sense, the research group extracted hydro-

colloids from autochthonous sources such as mucilage from prickly pear plants and from underutilized sources from the NOA region such as: pectins from residues of tomato industrialization and whey protein from cheese residues (whey from goat milk) and studied its potential use as a replacement for the hydrocolloids traditionally used in the food industry. The study of the viscous, emulsifying and stabilizing properties of the aforementioned biopolymers for their use in the design of structured matrices for their application in food was deepened.

The stabilizing and emulsifying properties of the mucilage were studied in o / w emulsions prepared on the basis of their aqueous suspensions, protein-polysaccharide conjugated molecules (whey protein and pectin) with improved emulsifying properties were obtained and finally the emulsifying properties were evaluated. of a goat whey protein concentrate. Turbidimetric, rheological and static tests were used to study the stabilizing and emulsifying properties. The results obtained show the mucilage of the prickly pear, the pectin extracted from residues of the tomato industry, and the goat's milk whey protein with interesting stabilizing and emulsifying properties as potential replacement for commercial hydrocolloids.

Keywords: Hydrocolloids; indigenous sources; underutilized resources; stabilizers; emulsifiers

## Introducción

Una de las líneas de trabajo que desarrolla este grupo de investigación es la obtención de hidrocoloides de fuentes autóctonas y de materia prima subutilizadas, su caracterización fisicoquímica y el estudio de sus propiedades funcionales.

Se denominan hidrocoloides por su habilidad para formar

suspensiones coloidales con el agua. Estructuralmente son polisacáridos o proteínas presentes en los alimentos en forma natural o agregados como aditivos. Desde un punto de vista tecnológico, estos biopolímeros tienen un rasgo en común y es su habilidad para modificar la estructura de un alimento y, por lo tanto, ser los responsables en gran medida de la textura percibida. Bajo condiciones apropiadas, los hidrocoloides se asocian en la matriz alimentaria con los restantes componentes del sistema, con lo cual, para poder controlar la textura final, es necesario contar con información básica sobre su comportamiento individual y sobre sus interacciones. Agregados en pequeñas cantidades, los hidrocoloides pueden actuar como agentes espesantes, gelantes, estabilizantes, emulsificantes, encapsulantes, etc. Aunque no contribuyen al aroma, sabor o poder nutritivo de los alimentos, pueden incidir en su aceptabilidad mejorando su textura o consistencia. Son también utilizados en la industria farmacéutica, papelera y textil, puesto que mejoran las propiedades de los diferentes productos elaborados.

Entre los hidrocoloides comerciales más difundidos en la industria alimentaria se puede mencionar entre los polisacáridos al almidón, la goma guar, la goma arábica, la goma garrofín, la goma xántica, los carragenanos, las pectinas, los derivados de celulosa, etc.; entre las proteínas se destacan la gelatina y las proteínas del suero lácteo (Garti y Reichman, 1993; Dickinson, 2003). Aun cuando ellos cubran un amplio espectro de aplicaciones, hay una búsqueda permanente por nuevos materiales con propiedades funcionales novedosas.

En nuestro país la mayor parte de las gomas utilizadas son importadas, a pesar de la existencia de materias primas nacionales que podrían ser utilizadas para su obtención. Es por ello que resulta interesante la búsqueda de nuevos hidrocoloides que puedan ser una solución alternativa. En este sentido, el grupo de investigación extrajo hidrocoloides de fuentes autóct-

tonas tales como mucílago de plantas de tuna y de fuentes subutilizadas de la región del Noroeste Argentino (NOA), pectinas de residuos de la industrialización del tomate y proteína de suero de residuos de quesería (suero de leche caprina) y estudió su potencial uso como reemplazo de los hidrocoloides tradicionalmente empleados en la industria alimentaria. Se profundizó en el estudio de las propiedades viscosantes, gelantes, emulsificantes y estabilizantes de los biopolímeros mencionados para su empleo en el diseño de matrices estructuradas y su aplicación en alimentos.

La finalidad de esta línea de investigación es la de revalorizar los recursos regionales y agregar valor mediante el desarrollo de alimentos con buenas propiedades de textura a partir de la incorporación de hidrocoloides obtenidos de esos recursos autóctonos.

Los objetivos específicos fueron estudiar las propiedades estabilizantes y emulsificantes del mucílago en emulsiones o/w preparadas en base a sus suspensiones acuosas y compararlo con la de hidrocoloides comúnmente utilizados en la industria de alimentos; obtener moléculas conjugadas proteína-polisacárido (proteína de suero de leche y pectina) mediante la reacción de Maillard, con propiedades emulsificantes mejoradas y evaluar las propiedades emulsionantes de un concentrado de proteínas de suero de leche caprina.

## Antecedentes

### *Hidrocoloides*

El término hidrocoloide hace referencia a una sustancia natural polimérica soluble o dispersable en agua. Son moléculas altamente hidrofílicas que actúan en bajas concentraciones reduciendo la movilidad del agua y aumentando la viscosidad.

Aunque el término se aplica de forma general a sustancias de composición polisacárida, también se consideran hidrocoloides algunas proteínas como la gelatina, albúmina, aislado de suero de leche y aislado de proteína de soja (Phillips y Williams, 2000; Cubero y col., 2002).

Generalmente se denomina goma a los hidrocoloides de naturaleza polisacárida de origen vegetal. Usualmente poseen propiedades coloidales que en un disolvente apropiado producen geles, disoluciones o dispersiones altamente viscosas a bajas concentraciones (Whistler, 1993).

El término mucilago define un material caracterizado por una alta solubilidad, una gran capacidad de hidratación y una baja viscosidad. Los mucílagos son análogos, por su composición y sus propiedades, a las gomas. En general, se considera que los mucílagos son secreciones, a diferencia de las gomas que son tanto componentes de la pared celular como polisacáridos de reserva empleados por la planta como fuente de energía (Ramsden, 2004).

Las pectinas son heteropolisacáridos complejos compuestos principalmente por cadenas de ácido galacturónico  $\alpha$  (1--4). Algunas moléculas de este ácido pueden estar esterificadas con grupos metílicos y el porcentaje de grupos esterificados se denomina "grado de esterificación". Dependiendo del grado de esterificación, las pectinas se clasifican en pectinas de alto tenor de metoxilo (HMP) (50-80%) y pectinas de bajo tenor de metoxilo (LMP) (25-50%) (Thakur, 1997).

Las pectinas poseen propiedades funcionales importantes para las industrias alimentaria, nutracéutica y farmacéutica. Las propiedades funcionales dependen de los cambios estructurales de la pectina relacionados con la madurez de la materia prima, método y condiciones de extracción, el almacenamiento y los procesos industriales (Koubala y col., 2008; Van Bugenhout y col., 2009b). Entre las propiedades funcionales más conocidas de las pectinas se puede mencionar la capacidad

espesante y gelante. Sin embargo, también se ha reportado que las pectinas presentan propiedades emulsificantes (Chen y col., 2016).

Una de las propiedades más importante de estos hidrocoloides es el incremento de la viscosidad de los sistemas acuosos; esto se debe a su elevada capacidad de retención de agua. Esta propiedad está relacionada con la estructura molecular específica del hidrocoloide. Los hidrocoloides son muy utilizados en la industria alimentaria como agentes estabilizantes y emulsificantes en sistemas heterogéneos tales como las emulsiones. Además de conferir viscosidad a las disoluciones acuosas o de formar geles, los hidrocoloides pueden modificar y/o controlar las propiedades de flujo y de textura de alimentos fluidos y bebidas e incluso las propiedades de deformación de alimentos semisólidos (Whistler, 1993).

Las proteínas de la leche son moléculas con actividad superficial que se adsorben en la interfaz aceite-agua, disminuyen la tensión interfacial y forman una capa protectora que rodea las gotas de aceite (Schokker y col., 2002).

Las principales proteínas de la leche de cabra son aproximadamente las mismas que en la leche de vaca (Park y col., 2007). Sin embargo, la leche de cabra difiere de la leche humana y la de vaca por poseer mejor digestibilidad, alcalinidad, capacidad buffer, y ciertos valores terapéuticos en la medicina y la nutrición humana (Haenlein y Caccese, 1984; Park y Chukwu, 1989; Park, 1994).

Los concentrados de proteínas de suero de leche son ampliamente usados en la industria alimentaria debido a sus propiedades funcionales, entre las que se puede mencionar la capacidad emulsionante. Son proteínas globulares que poseen en su estructura dominios lo suficientemente flexibles, los cuales les permiten formar rápidamente películas y disminuir la tensión superficial.

Las proteínas mayoritarias del suero son la  $\alpha$ -Lactoglobulina

( $\beta$ -Lg),  $\alpha$ -Lactalbumina ( $\alpha$ -La), seroalbúmina (SA) e inmunoglobulinas (Ig), que representan 60%, 20%, 3% y 10% de las fracciones, respectivamente.

### *Emulsiones o/w*

Las emulsiones son sistemas heterogéneos compuestos por una mezcla de dos fases inmiscibles, una continua y otra dispersa en forma de pequeñas gotas y, por consiguiente, desde el punto de vista fisicoquímico, son dispersiones coloidales liofóbicas; además, por su elevada área interfacial son termodinámicamente inestables (Dickinson y col., 1992; McClements, 1999).

Las emulsiones tienen gran importancia en la industria alimentaria ya que están presentes en muchos alimentos, tanto naturales como elaborados. En estos sistemas, la fase dispersa por lo general es un aceite o una grasa, mientras que la fase acuosa continua contiene proteínas, polisacáridos y otros componentes solubles (Dickinson, 1992).

Un sistema que consiste en una fase oleosa dispersa en una fase acuosa se denomina emulsión aceite en agua (*oil in water, o/w*); en cambio, si la fase continua es oleosa, las emulsiones correspondientes son emulsiones agua en aceite (*water in oil, w/o*).

Dado que son termodinámicamente inestables a causa de su elevada área interfacial, se requiere la incorporación de agentes emulsificantes o tensioactivos para mejorar la estabilidad cinética. Químicamente, los agentes tensioactivos son moléculas de carácter anfifílico que se adsorben en la interfase agua/aceite durante la preparación de una emulsión. Estas moléculas tienen la particularidad de tener regiones polares que se orientan preferentemente hacia la fase acuosa y regio-



nes no polares que interaccionan favorablemente con la fase lipídica. En una emulsión, tanto o/w como w/o, el contacto directo entre las moléculas de aceite y de agua son reemplazados por contactos entre las regiones no polares del agente emulsificante y la fase dispersa y entre las regiones polares y la fase acuosa. Estas interacciones son más favorables desde el punto de vista termodinámico, en tanto que da como resultado una acumulación del agente emulsificante en la interfase y, en consecuencia, un descenso de la tensión interfacial entre la fase acuosa y la fase dispersa (McClements, 1999). Como ejemplos de emulsionantes de bajo peso molecular se pueden citar los tensioactivos, lípidos polares y glicolípidos. Entre los emulsionantes de alto peso molecular, se pueden citar las proteínas, lipoproteínas y algunos polisacáridos exudados como la goma arábica. En este último caso, la eficacia es sensiblemente inferior a los ejemplos anteriores; esto se atribuye a la presencia de un pequeño porcentaje de proteínas enlazadas de forma covalente a una fracción de alto peso molecular del polisacárido (Dickinson, 2003).

Un emulsionante no es igual a un estabilizante, aunque estos términos se confundan en ocasiones. Lo que a veces se identifica como emulgente o emulsificante no es tal, sino un estabilizante, que a efectos prácticos no presenta actividad interfacial significativa.

Un estabilizante es un compuesto químico normalmente de naturaleza macromolecular que, hidratado en la fase acuosa, confiere a una emulsión o/w una estabilidad física durante un tiempo prolongado. La mayoría de los polisacáridos pueden actuar como agentes estabilizantes en las emulsiones o/w, pero solo algunos pueden hacerlo como agentes emulsificantes. En general, con algunas excepciones, los polisacáridos no tienen tendencia a adsorberse en la interfase agua/aceite debido a que están formados por unidades monoméricas que tienen afinidad casi exclusivamente por la fase acuosa. Ade-

más, la capacidad de adsorción interfacial está también limitada por restricciones estructurales como la capacidad de rotación a través de los enlaces glicosídicos (Stainsby, 1986). Sin embargo, pueden aumentar la estabilidad de una emulsión por restricción de la movilidad de las gotas de la fase dispersa, gracias al aumento de viscosidad y, en ocasiones, de la viscoelasticidad de la fase continua (McClements, 1999; Damodaran, 2005). Los polisacáridos más ampliamente utilizados en emulsiones alimentarias son la goma xántica, almidones modificados, celulosas modificadas, galactomananos y pectinas (Garti y Reichman, 1993; Dickinson, 2003).

Además, muchas emulsiones alimentarias incluyen en su formulación proteínas (emulsionantes) y polisacáridos (estabilizantes), biopolímeros que de modo conjunto controlan la consistencia y la textura del producto. Son, de hecho, los compuestos responsables de la estructura de las emulsiones, junto con las gotas de la fase dispersa. Las proteínas y los polisacáridos presentes en una formulación pueden interactuar formando complejos proteína-polisacárido estables frente a diferentes condiciones del medio (pH, contenido en sales, azúcar, etc.) mediante uniones covalentes, normalmente tras tratamiento térmico controlado bajo condiciones de actividad de agua baja (Dickinson, 1995).

## Estabilidad

El término "estabilidad de una emulsión" se refiere a la capacidad del sistema a resistir cambios en sus propiedades a lo largo del tiempo (Dickinson, 2003). Cuanto mayor es la estabilidad de una emulsión, mayor es la capacidad para soportar las condiciones de proceso donde intervienen operaciones de conducción en tubería, bombeo, extracción, filtración, extrusión,

etc. (Marcotte y col., 2001).

La estabilidad de una emulsión o/w depende de numerosas variables, entre las cuales se pueden mencionar la distribución y tamaño de las partículas de la fase dispersa, viscosidad y concentración de la fase continua, temperatura, diferencia de densidad y relación volumétrica entre fases (Dickinson, 1997a). Una variable importante que también afecta la estabilidad es la aplicación de esfuerzos mecánicos a los que se someten las emulsiones durante los procesos de elaboración (batido, agitación, etc.).

Desde el momento en que se forma una emulsión, inmediatamente después de la homogeneización (y a veces durante), comienza el proceso de desestabilización, el cual tiende a disminuir el área interfacial y llegar al estado termodinámico más estable. Existen distintos mecanismos que contribuyen simultánea y sinérgicamente a la desestabilización. El cremado y la sedimentación se conocen conjuntamente como fenómenos de separación gravitacional debido a la diferencia de densidad entre la fase continua y la fase dispersa. La floculación y la coalescencia son mecanismos de desestabilización que surgen como consecuencia de un fenómeno de agregación entre las gotas. En el primer caso, las gotas mantienen su integridad individual, mientras que en la coalescencia el proceso de agregación entre dos gotas culmina con la formación de una gota de mayor tamaño y, por lo tanto, implica la ruptura de la película interfacial. Si la coalescencia se da en mayor extensión, puede conducir eventualmente a la formación de una capa de aceite libre en la parte superior de la emulsión (Friberg, 1997). La desproporción de Ostwald es causada por un transporte por difusión de fase dispersa desde las gotas más pequeñas a las más grandes en una emulsión. El efecto es el crecimiento de las gotas más grandes a expensas de las más pequeñas. La inversión de fase es un proceso en el cual se produce un cambio desde una emulsión aceite en agua (o/w) a una emulsión agua

en aceite (w/o) y viceversa. La base de este fenómeno es muy compleja y se cree que involucra aspectos fisicoquímicos de la floculación, coalescencia, coalescencia parcial.

Estos mecanismos de desestabilización no ocurren de manera separada o aislada y son la consecuencia de distintos fenómenos físicos, los cuales se relacionan con la diferencia de densidad de las fases continua y dispersa, las interacciones coloidales entre las gotas y la estructura y viscoelasticidad de la película interfacial (McClements, 1999).

El agregado de hidrocoloides como espesantes de la fase acuosa en las emulsiones resulta una interesante alternativa para lograr el incremento de la estabilidad, puesto que disminuyen la velocidad de cremado, a partir de un aumento en la viscosidad de la fase continua (Quintana y col., 2002a).

#### EXTRACCIÓN DE HIDROCOLOIDES DE PLANTAS DE NOPAL, DE RESIDUOS DE LA INDUSTRIA TOMATERA Y QUESERA DEL NORESTE ARGENTINO Y SU CARACTERIZACIÓN FISICOQUÍMICA

##### *Mucilago del nopal*

El nopal es una cactácea de los género *Opuntia*, la especie más cultivada en Argentina es *Opuntia ficus-indica* L. Mill (Saravia-Tasayco, 2004.) Sus ramas están formadas por cladodios cuyos espesores dependen del agua y de los nutrientes recibidos durante el crecimiento (Sudzuki y col., 1993). Estos cladodios son ricos en un biopolímero llamado "mucilago" que se encuentra presente en el tejido clorenquimático y parenquimático, con mayor abundancia en este último (Trachtenberg y Mayer, 1981). El mucilago ha sido caracterizado como una sustancia polimérica compleja compuesta por hidratos de

carbono (McGarvie y Parolis, 1981; Medina-Torres y col., 2000, 2003; Goycoolea y Cárdenas, 2004; Matsuhiro y col., 2006). En general, contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa y D-xilosa como las principales unidades de azúcares neutros, así como ácido galacturónico. La estructura primaria propuesta lo describe como un polisacárido ramificado de (1-4)  $\beta$  D-ácido galacturónico y  $\alpha$  (1-2) L-ramnosa como unidades centrales. Las cadenas laterales tienen a su vez un esqueleto formado de  $\beta$  (1-6) - D-galactosa, el cual se encuentra unido a la ramnosa en el eje central. Los residuos laterales de galactosa presentan ramificaciones adicionales con unidades de arabinosa, xilosa y galactosa (Amin y col., 1970; Mindt y col., 1975; Paulsen y Lund, 1979, Trachtenberg y Mayer, 1981; Forni y col., 1994). Físicoquímicamente se ha caracterizado como un mucopolisacárido electrolítico complejo de alto peso molecular (Ting, 1997). Es soluble en agua y su configuración en solución corresponde a la de un ovillo estadístico (Cárdenas y col., 1997). Sus soluciones presentan comportamiento pseudoplástico (Medina-Torres y col., 2000, Quinzio y col., 2018). La información existente en cuanto a sus propiedades funcionales indica que se trata de un polímero viscosante no gelificante (Medina-Torres y col, 2000).

El mucílago se extrajo mediante precipitación con alcohol del exudado natural de cladodios de 2 años de edad. Posteriormente fue secado en estufa hasta peso constante. El mucílago deshidratado en polvo (MP) se caracterizó químicamente determinando el contenido de macrocomponentes y microcomponentes mediante las técnicas de la AOAC (2000). Se determinó un contenido de humedad del polvo de mucílago de un 9,3%, un contenido de proteínas de 2,7 % p/p en base seca, 9,8% de cenizas y 79,9% de fibras. Los minerales cuantificados fueron  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ; estos se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. Los valores obtenidos fueron 0.4, 1.3, 6.2 y 0.8 mg/100 g, respectivamente (Quinzio

y col., 2017). El  $\text{Ca}^{++}$ , que se encuentra en mayor proporción, tiene un efecto significativo en la capacidad de retención de agua y otras propiedades biofísicas del mucílago de *Opuntia* (Trachtenberg y Mayer, 1982).

También se determinó su viscosidad intrínseca, de la que se obtuvo un valor de 20 dl/g. Este valor es mayor que el estimado para goma guar, que es uno de los hidrocoloides más ampliamente usados en la industria alimentaria como agente espesante (Quinzio y col., 2017).

### *Pectina*

Las fuentes de pectinas convencionales a nivel industrial son las cáscaras de citrus, el orujo de manzana y, recientemente, se ha utilizado la pulpa de remolacha (Xu y col., 2012). Las materias primas, generalmente residuos de la producción industrial de jugos naturales, son conocidas por un alto rendimiento de extracción de pectinas cuyas características estructurales y funcionales ya se conocen (Stephen y Williams, 2006).

Existen otras fuentes consideradas no convencionales entre las que se pueden mencionar las cáscaras de frutas u hortalizas, hojas de plantas y/o frutos enteros, tales como cacao (Mollea y col., 2008), cáscaras de maracuyá (Kulkarni y Vijayanand, 2010), ciruela japonesa (Basanta y col., 2012) y de cladodios de *Opuntia ficus indica* (Lefsih y col., 2016), entre otras. Una fuente alternativa no convencional de pectina estudiada por este grupo de investigación son los residuos de la industria del tomate.

La producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) del NOA se destina al consumo directo o a su industrialización para la obtención de productos alimentarios tales como salsas, ketchup, concentrados o tomates enteros envasados. La acti-

vidad industrial en el procesado de tomate genera un subproducto conformado por piel, semillas y fracciones de tomate en diferentes proporciones según el proceso de elaboración. Los subproductos representan entre el 5 y el 13% en peso del tomate entero (Heuzé y Lebas, 2015; Ventura y col., 2009). En la actualidad, el subproducto de la industrialización del tomate se descarta, y con ello, se desechan componentes de importancia alimentaria y nutricional, entre las cuales se encuentran las pectinas. La posibilidad de recuperar estos componentes contribuirá a agregar valor a este subproducto. Por otro lado, no se registran estudios que estén enfocados a la recuperación de la pectina ni de otros componentes bioactivos presentes en subproducto del tomate y tampoco se han encontrado estudios referidos a las propiedades químicas y fisicoquímicas de estas pectinas.

Es por eso que en el grupo de investigación surge el interés por la extracción de las pectinas de esta fuente no convencional. Para ello se utilizan dos métodos: "método ácido" y "método acuoso" con el empleo de dos agentes de extracción: HCl 6N y agua destilada, respectivamente (Alancay y col., 2017). Las pectinas obtenidas a partir de estos dos métodos fueron denominadas como pectina soluble en medio acidificado (PSH) y pectina soluble en medio acuoso sin acidificar (PSA).

Se estudió la composición química de estas pectinas (PSH, PSA) extraídas de los residuos de la industria tomatera. Se determinó el contenido de humedad, cenizas, proteínas y lípidos de acuerdo con la metodología propuesta por la AOAC (1995). Para el cálculo del contenido de proteína se empleó un factor de conversión de 6,25 sugerido por la AOAC (1995). Los resultados fueron los siguientes: humedad de 12,9% y 14,3 % para PSH y PSA, respectivamente. La pectina PSH presentó un valor de ceniza de 6,5% y la PSA un valor de 10,1%. En cuanto a las proteínas, la PSH presentó un valor más alto de 8,1% respecto del 4,3% de la PSA. La cantidad de lípidos presentes en PSH

fue de 1,6% mientras que en PSA fue de 13,8%. El contenido de ácido galacturónico (AGal) se determinó por espectrofotometría mediante el método propuesto por Ibarz y col. (2006); se registraron valores de 80% y 81,3 % para PSH y PSA, respectivamente. Estos aislados de polisacáridos obtenidos a partir de residuos industriales del tomate pueden ser considerados como pectinas debido a que los valores de AGal fueron mayores a 65g AGal/100 g de pectina seca (libre de impurezas), límite fijado por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) de las Naciones Unidas (FAO, 2009; Paulionis y col., 2015). El grado de metoxilación (GM) se determinó en las pectinas extraídas a través del método propuesto por Klavons y Bennett (1986); los valores señalados fueron de 76,3% y 87,8% para PSH y PSA, respectivamente. Estos valores de GM permiten clasificarlas como pectinas de alto metoxilo. El GM es uno de los factores importantes en las propiedades espesantes, gelificantes, emulsificantes y en la tensión superficial de una pectina.

También se determinó la viscosidad intrínseca de las pectinas obteniéndose valores de 4,2 dl/g para PSH de 1,8 dl/g para PSA.

### *Concentrado de proteína del suero de leche de cabra*

En Santiago del Estero y en la región del NOA, la ganadería caprina es una actividad muy importante para muchas familias de escasos recursos. La leche es destinada principalmente a la producción de quesos, lo que genera una gran cantidad de suero como subproducto aprovechable, que se desecha o se destina para el consumo animal. El suero es un líquido de color amarillento, de sabor fresco, débilmente dulce, y de carácter ácido. Posee un alto valor nutricional, contiene más de la mitad



de los sólidos presentes en la leche entera de origen, incluyendo las proteínas del suero (20% del total de proteínas), lactosa, vitaminas y minerales solubles en agua (Atra y col., 2005).

Por esta razón, en nuestro grupo de investigación nos propusimos recuperar las proteínas de este suero de leche de cabra elaborando un concentrado de proteínas mediante la aplicación de una tecnología de membrana, como la ultrafiltración (UF). Esta tecnología posee la ventaja de que no expone al suero a temperaturas elevadas ( $> 55\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), no desnaturaliza las proteínas ni degrada los nutrientes (Bennett, 1997). Esto significa que se puede elaborar un concentrado de las proteínas sin ninguna modificación importante en su estructura y funcionalidad.

El concentrado de proteína se obtuvo a partir de suero suministrado por una pequeña fábrica local de quesos de cabra. Para ello, en una primera etapa el suero fue centrifugado como pretratamiento para reducir el contenido de grasa y eliminar impurezas; además, esto disminuye el ensuciamiento de la membrana en la etapa posterior. El suero así descremado se ultrafiltró con un módulo de membrana tangencial de UF, con un peso molecular de corte de 10 kDa, teniendo en cuenta que las proteínas mayoritarias del suero,  $\beta$ -Lg y  $\alpha$ -La, poseen un peso molecular de 18,28 y 14 kDa, respectivamente

Dado que se considera como limitante del proceso el incremento de la viscosidad del concentrado y el tiempo total del proceso, la UF del suero quedó definida con un factor de concentración volumétrica (FCV) igual a 7. El FCV se define como la relación entre el volumen inicial de suero y el volumen final de suero concentrado luego del proceso de concentración (Cheryan, 1986). Para lograr incrementar el contenido de proteínas en el concentrado, se aplicó un proceso de diafiltración (DF), que consiste en agregar agua al concentrado y recircularlo en el proceso de tal modo que se incremente la concentración de proteínas y se reduzca el contenido de sustancias de

bajo peso molecular como lactosa y minerales. La DF fue aplicada en cinco etapas discontinuas. Luego, el concentrado fue congelado para su posterior secado por liofilización. El polvo seco obtenido se definió como concentrado de proteínas de suero de leche de cabra (CPSc) (Ayunta y col., 2019).

Al concentrado de proteína de suero obtenido se le determinó su composición química de acuerdo con los métodos oficiales (AOAC, 2005). Se registraron los siguientes resultados: humedad de 2,4%; cenizas de 1,77%; lípidos con un valor de 14,79% y lactosa de 18,83%. En cuanto al contenido de proteínas del CPSc, se obtuvo un valor de 64,60%, superior a los alcanzados por Sanmartín y col. (2012) y Palatnik y col. (2015), 36,84% y 23,73%, respectivamente; estos autores refieren que concentran las proteínas a partir de suero de leche de cabra sin desgrasar. El contenido de grasa inicial en el suero es un factor muy importante, ya que la grasa forma una capa adyacente a la membrana y contribuye a la retención de lactosa e iones de sal y, consecuentemente, dificulta la concentración de proteínas (Obermeyer y col., 1993). Por lo tanto, el contenido final de proteínas dependería del contenido inicial de grasa en el suero y del número de FCV y DF en el proceso de concentración, de la que DF resulta en una etapa clave. Además, la adición de pequeños volúmenes de agua en varias etapas durante la DF, sería más efectivo que la adicción de un volumen grande en una sola etapa (Baldasso y col., 2011).

Los CPS en polvo que tienen mayor interés comercial son los que contienen entre 35%, 65% y 80% de proteínas, son productos de valor agregado y se utilizan en varios productos alimenticios debido a que son reconocidos como productos GRAS5 (generalmente reconocidos como seguros). En este sentido, el CPSc obtenido por el grupo de investigación pre-

senta un contenido de proteína importante y lo posicionaría dentro de los concentrados con valor comercial. En general, los CPS se utilizan en leche descremada y como sustitutos de huevo. Existen variaciones de composición entre los CPS producidos en todo el mundo. Estas diferencias están relacionadas principalmente con la composición de la leche de partida y las condiciones de elaboración de los quesos (Schmidt y col., 1984) junto con las diferentes condiciones y tecnologías aplicadas durante la concentración del suero.

Además del contenido de proteínas, se identificaron las principales fracciones proteicas por electroforesis SDS-PAGE; de esto resultó que  $\beta$ -Lg y  $\alpha$ -La son las proteínas mayoritarias. También se encontraron fracciones de inmunoglobulina G (IgG), albúmina de suero y lactoferrina (Ayunta y col., 2019).

Las principales fracciones proteicas identificadas por electroforesis SDS-PAGE fueron inmunoglobulina G (IgG), albúmina de suero, lactoferrina,  $\beta$ -Lg y  $\alpha$ -La siendo estas dos últimas las proteínas mayoritarias. (Ayunta y col., 2019).

Dado que en la actualidad se registran muy pocos estudios sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales de los CPS de origen caprino, el grupo de investigación se propuso su análisis. La funcionalidad de las proteínas es una de las variables de mayor importancia tecnológica. El estudio de la relación entre estructura proteica y funcionalidad es la base para el diseño de ingredientes proteicos con funcionalidad específica para ser aplicados al desarrollo de alimentos con determinadas características texturales y organolépticas (Pilosof, 2000).

Las propiedades fisicoquímicas y funcionales de las proteínas del suero son afectadas por factores tales como temperatura, pH, fuerza iónica y condiciones de procesamiento (calentamiento, congelado, secado, entre otros). En nuestro estudio evaluamos algunas propiedades, tales como el potencial zeta, hidrofobicidad superficial y solubilidad.

El potencial zeta fue evaluado en soluciones de CPSc y fue

comparado con el concentrado de proteína de suero de leche bovina (CPSb) en un rango de pH (2, 4, 5, 7 y 10) tanto en agua como en NaCl (0,1 M), para simular la fuerza iónica de un alimento. Se encontró que el valor absoluto de potencial zeta de las soluciones de CPSc fue más alto que en las soluciones de CPSb, en todo el rango de pH estudiado, lo cual indica que las soluciones CPSc serían más estables que las CPSb. Su determinación aporta información de las causas de la dispersión, agregación o floculación, y se puede aplicar para mejorar la formulación de dispersiones, emulsiones y suspensiones. Las partículas con alto potencial zeta son autoestables, ya que su carga inhibe la coalescencia (separación de las fases) y mejora la estabilidad del sistema coloidal (Morrison y Ross, 2002).

En cuanto a la hidrofobicidad superficial ( $H_o$ ) del CPSc, se observó que fue menor a la presentada por CPSb, principalmente a pH ácido, lo que sugiere que a estos valores de pH se evidenció la exposición de grupos hidrofóbicos debido a las repulsiones electrostáticas de estas proteínas cargadas positivamente. La  $H_o$  fue más alta en las muestras con tratamiento térmico debido al desplegamiento de las proteínas y exposición de dominios hidrofóbicos (Sava y col., 2005). Este parámetro se utiliza para predecir el potencial de una proteína para asociarse por efecto de procesos de calentamiento o cambios en las condiciones del entorno, lo cual impacta, además, en las propiedades funcionales tales como propiedades espumantes y gelificantes (Nakai, 1983).

La solubilidad es la cantidad de proteína de una muestra que se disuelve en un solvente, o la cantidad de proteína en solución. La solubilidad de los CPS caprino y bovino fue elevada (mayor al 80%) en todos los sistemas, en particular en muestras sin tratamiento térmico y en presencia de NaCl de baja concentración (0,1 M) (Ayunta y col., 2019), probablemente debido al efecto de salting-in producido en esta última condición. En ambos CPS, el mínimo de solubilidad se presentó a valores de

pH cercanos al punto isoeléctrico (pI). Es la primera propiedad funcional usualmente determinada durante el desarrollo y pruebas de nuevos ingredientes proteicos. Esta propiedad funcional se relaciona con otras propiedades funcionales; de este modo, una elevada solubilidad indica buena funcionalidad.

### *Evaluación de los hidrocoloides como agentes estabilizantes y emulsificantes*

El estudio de las propiedades estabilizantes y emulsificantes de los hidrocoloides se realizó utilizando diferentes técnicas.

#### *Mucílago*

La evaluación de las propiedades estabilizantes y emulsificantes del mucílago se realizaron en emulsiones (o/w) obtenidas a partir de soluciones acuosas de diferentes concentraciones de mucílago y aceite comercial NATURA® (Quinzio y col., 2018). También se hicieron estudios comparativos de las emulsiones de mucílago con emulsiones de hidrocoloides de uso comercial tales como goma guar (GG), goma xántica (GX) y carboximetilcelulosa (CMC).

Una de las técnicas que se empleó para estudiar las propiedades emulsificantes del mucílago fue la turbidimetría (Pearce y Kinsella, 1978). Para ello, se determinó el índice de actividad emulsificante (IAE) y la actividad emulsificante (AE) de las distintas emulsiones. El IAE representa el área superficial de las partículas por gramo de hidrocoloide ( $m^2/g$ ) y AE representa el área superficial de las partículas por unidad de volumen de la emulsión ( $m^2/ml$ ); este último es más utilizado ya que es independiente de la concentración.

La emulsión de mucílago presentó un índice de actividad emulsificante de 1,55  $m^2/g$  similar a la emulsión de goma xán-

tica de 2,06 m<sup>2</sup>/g, la que constituye uno de los hidrocoloides más utilizados en la industria alimentaria. Las emulsiones de GG y CMC presentaron los IAE más elevados: 8,65 y 5,48 m<sup>2</sup>/g, respectivamente.

El término actividad emulsificante o emulsionante se refiere al área creada durante el proceso de homogeneización, la cual se puede relacionar con el tamaño de las gotas de la emulsión. Cuanto menor es el tamaño de la gota mayor el área interfacial creada, por lo tanto, mayor será el índice de actividad emulsificante. Los menores índices de actividad emulsionante que presentaron las emulsiones de MP y GX estarían relacionados con su mayor tamaño de partícula, consecuentemente, con una menor área interfacial (Quinzio y col., 2018).

Los resultados obtenidos para la AE muestran al mucílago con valores similares a la de los otros hidrocoloides. Las emulsiones de mucílago y GX presentaron iguales valores de AE, 0,12 m<sup>2</sup>/ml. Las emulsiones de GG y CMC presentaron el mayor y el menor valor de AE, respectivamente.

Los índices IAE y AE están relacionados con las propiedades emulsificantes de los hidrocoloides, pero no con su aporte a la estabilidad de la emulsión. Según los resultados encontrados, el mucílago tendría propiedades emulsificantes similares a los de la GX.

Por otro lado, la propiedad estabilizante del mucílago se evaluó mediante un método estático. En este caso se determinó la estabilidad al cremado. Para ello, se colocaron las emulsiones en probetas graduadas con tapas y se las mantuvo a temperatura ambiente durante 90 días. Con el transcurso de los días, las emulsiones se separaron en dos fases: una superior (cremado) y una inferior (acuosa). Se midió la altura de la fase acuosa en función de la altura total de la emulsión y se calculó el índice de cremado (%IC) según Keowmaneechai (2002). Este índice provee información indirecta sobre el grado de agregación de las gotas de una emulsión: cuanto mayor es la agrega-

ción, más rápido será el cremado y, en consecuencia, mayor será el %IC. Este índice se utiliza para indicar la susceptibilidad de las gotitas de aceite al cremado y a la coalescencia inducida por la fuerza gravitatoria (McClements, 1999b; Pearce y Kinsella, 1978).

El %IC de todas las emulsiones, excepto el de la emulsión de GX, aumentó en función del tiempo. El mucílago presentó un índice de cremado mayor que el de GG, pero menor que el de CMC; el %IC de la GG fue el más bajo, por lo que podemos decir que esta última fue más estable que el mucílago y la CMC. La emulsión de GX no se desestabilizó en el transcurso del tiempo que duró el ensayo; sin embargo, se observó que al incrementar la concentración de la fase continua se produjo una disminución en el %IC para todos los hidrocoloides estudiados. Estos resultados fueron similares a los encontrados por Huang y col. (2001) para emulsiones de GG y CMC. En estudios previos realizados por este grupo, se determinó que un incremento en la concentración del hidrocoloide origina un incremento en la viscosidad aparente (Quinzio y col, 2017). Por lo tanto, la capacidad estabilizante de estos hidrocoloides estaría asociada a su viscosidad, la que se incrementa con la concentración. En este sentido, las emulsiones con viscosidades más altas fueron las más estables (GX y GG). Se sabe que la principal contribución de los polisacáridos a la estabilidad de una emulsión es a través de sus propiedades espesantes dado que, por lo general, no poseen propiedades tensoactivas (Dickinson, 2003).

También se evaluó la propiedad estabilizante del mucílago estudiando la estabilidad de sus emulsiones a la coalescencia mediante un método acelerado (Dagorn- Scaviner y col, 1987). Dado que la coalescencia es un proceso lento de desestabilización comparado con el cremado y la floculación, en muchas ocasiones para evaluarla, o aún detectarla, se recurre a los tests acelerados (Britten y Giroux, 1991; McClements, 1999).

En nuestro estudio, la estabilidad a la coalescencia de las distintas emulsiones fue evaluada utilizando el ensayo acelerado: la centrifugación. Las altas velocidades aceleran el proceso de cremado y en la fase crema las gotas son forzadas a entrar en contacto por efecto del campo gravitatorio, lo cual provoca la coalescencia de las gotas y la separación de aceite (oiling off) (McClements, 1999).

En este caso, la estabilidad de las emulsiones (%EE) se evaluó por medio del registro del volumen de la fase lipídica separada luego del proceso de centrifugación respecto del volumen total. La emulsión de mucílago presentó %EE similares a los de las emulsiones de GG, 79% y 85%, respectivamente. La emulsión más estable resultó la de GX, puesto que presentó el mayor %EE, y la menos estable fue la de CMC.

La estabilidad frente a la coalescencia de las emulsiones está influenciada por diversos factores, entre ellos el tamaño y la distribución de tamaño de partículas, la viscosidad de la fase continua, las propiedades interfaciales y físico-mecánicas de la película que rodea a las gotas y la agitación a la que se somete el sistema.

Durante los procesos de homogeneización y centrifugación ocurre la colisión y agregación entre dos gotas que da lugar a la formación de una gota de mayor tamaño y, por lo tanto, implica la ruptura de la película interfacial que rodea a la gota. La eficiencia de colisión es mayor cuanto más grande sean las gotas y cuanto menos resistente sea la película que las rodea. Si este fenómeno se da en mayor extensión se produce la coalescencia y puede conducir eventualmente a la formación de una capa de aceite libre en la parte superior de la emulsión (Lucassen-Reynders, 1993). Los tamaños de gotas de las emulsiones de mucílago fueron mayores que el resto de las emulsiones, por lo tanto, tendría que ser la emulsión con mayor eficiencia de colisión y, por ende, la menos estable. Sin embargo, la emulsión de mucílago presentó un %EE



comparable al de la emulsión de GG. En este caso la menor tendencia a la coalescencia de la emulsión de mucílago podría estar determinada por la naturaleza de la película que cubre a la gota y del medio que la rodea. Para que dicha película no se rompa durante las colisiones debe ser, al mismo tiempo, fuerte y elástica. Con respecto a esto, cuando se estudió el comportamiento reológico de las emulsiones de mucílago, este mostró un comportamiento viscoelástico similar al de GG (Quinzio y col., 2017); esta propiedad le otorgaría mayor elasticidad a la película que rodea a la gota y podría explicar su alta estabilidad a la coalescencia. En el caso de la emulsión de GX, su elevada estabilidad puede explicarse también teniendo en cuenta el comportamiento predominantemente elástico de sus emulsiones. Las emulsiones de CMC presentaron un comportamiento viscoso, lo que sugiere que la película que rodea a la gota de aceite no es elástica, de ahí que sea más susceptible a romperse cuando las gotas colisionan entre sí.

De lo expuesto anteriormente se puede establecer que en este ensayo un tamaño de gota grande no es suficiente para inducir una alta coalescencia durante la agitación, sino que estarían involucradas también las características y propiedades físico-mecánicas de la película interfacial que rodea a la gota de aceite. Los resultados mostrados indican que la resistencia a la coalescencia en circunstancias de tensión tangencial estaría relacionada con la reología de la película (Lucassen-Reynders, 1993; Mitidieri y Wagner, 2002). Por último, se estudió la propiedad estabilizante del mucílago mediante reología. La estabilidad de las emulsiones se evaluó mediante la determinación del esfuerzo crítico ( $\tau_c$ ). Este parámetro es un indicador de la extensibilidad de la emulsión (Mancini y col., 2002). Por encima de este valor la estructura de la emulsión comienza a romperse. Según Tadros (2004), este parámetro es un indicador de pérdida de la estabilidad de la emulsión. Cuanto mayor es  $\tau_c$ , mayor es la extensibilidad de la emulsión y mayor es la capa-

cidad del sistema para ser dispersado sin romperse (Hayati y col, 2007). El esfuerzo crítico ( $\tau_c$ ) es el esfuerzo a partir del cual la deformación resultante pierde la linealidad con el esfuerzo aplicado y el sistema sufre cambios estructurales.

Para la determinación de la extensibilidad de la emulsión se realizaron ensayos dinámicos de barridos de esfuerzo para obtener los parámetros esfuerzo ( $\tau_c$ ) y deformación ( $c$ ) críticos por sobre los cuales se considera que la emulsión deja de encontrarse dentro del rango viscoelástico lineal (RVL) (Quinzio y col., 2018).

El  $\tau_c$  se incrementó con la concentración de hidrocoloide en la fase continua; las emulsiones presentaron el siguiente orden para cada concentración ensayada: GG > MP > GX > CMC. La emulsión más extensible resultó la de GG, ya que se necesitaron valores de  $\tau_c$  más grandes para producir la ruptura de la estructura. Las emulsiones de mucílago resultaron ser más resistentes a los esfuerzos aplicados que las emulsiones de GX y CMC. Es importante destacar que en estas condiciones de ensayo las emulsiones de mucílago fueron más estables ante la aplicación de un esfuerzo que las emulsiones de GX.

Los resultados presentados nos permiten concluir que las propiedades emulsificantes del mucílago que se estudiaron a partir de la evaluación de su índice de actividad emulsionante y de su actividad emulsionante lo muestran con un comportamiento similar a la goma xántica.

De la evaluación de sus propiedades como estabilizante de emulsiones se determinó que estas están relacionadas con la concentración de la fase dispersa y, por consiguiente, son función de la viscosidad evaluada mediante el método estático. Por su parte, el método acelerado permitió determinar que la estabilidad de las emulsiones de mucílago era similar a la de goma guar, y que estaría asociada a las características viscoelásticas de la película que rodea a las gotas de aceite. Por último, cuando se evaluó la propiedad estabilizante del

mucílago por reología, se determinó que sus emulsiones presentaban una extensibilidad mayor que las de goma xántica, es decir fueron más estables ante la aplicación de un esfuerzo comparadas con las de esta última.

### *Pectina*

Como ya se mencionó previamente, los polisacáridos, entre ellos las pectinas, son empleados como agentes estabilizantes de emulsiones debido principalmente a su capacidad de incrementar la viscosidad de la fase continua de una emulsión o/w. En general, la mayoría de los polisacáridos no poseen una fuerte actividad emulsificante a causa de su baja tendencia a ser adsorbidos en la interfase de la emulsión. Esto se debe principalmente a la falta de zonas hidrófobas dentro de su estructura hidrofílica (Tamnak y col., 2016). Por el contrario, las proteínas poseen excelentes propiedades emulsificantes; sin embargo, han mostrado algunas limitaciones, entre las cuales se puede mencionar su baja solubilidad a pH ácidos. La formación de complejos conjugados entre polisacáridos y proteínas mediante la Reacción de Maillard puede ser una alternativa para modificar las propiedades de ambos polímeros y así obtener una molécula con propiedades funcionales mejoradas.

En este sentido, se estudió la estabilidad de emulsiones formuladas con un complejo proteína-pectina y se la comparó con la estabilidad de emulsiones de pectina extraída por el método ácido (PSH) y con la de emulsiones de concentrados de suero de leche bovina (PSC). Los conjugados proteína de suero de leche-pectina se obtuvieron por el método de Mu y col. (2006). Las soluciones acuosas de pectina (3%) y proteínas (10%) a pH 7,0 se mezclaron en proporciones de proteína:pectina 2:1, 1:1, 1:2 (p:p). Las mezclas fueron congeladas, liofilizadas y trituradas para obtener un polvo. Se incubaron a 60°C durante 3, 6 y 12 días. Las emulsiones se prepararon con

aceite comercial de girasol y solución acuosa de PSH, de PSC y de complejo proteína-pectina a una concentración del 1% (p:p). Se emplearon PSH y PSC con y sin tratamientos térmicos (60°C, 3, 6 y 12 días) para la preparación de las emulsiones.

Se evaluó el índice de estabilidad emulsionante (IEE) por el método de Pearce y Kinsella (1978). Los resultados obtenidos mostraron que la emulsión de PSH sin tratamiento térmico presentó un IEE de 110%, el cual resultó ser el más alto. En el caso de la PSC sin tratamiento térmico, esta presentó un valor de IEE de 75%; su estabilidad disminuyó significativamente con el tratamiento térmico, lo que es indicado por los valores de 35% y 40%.

Los IEE de los complejos PSC-PSH fueron mayores que los presentados por PSC con y sin tratamiento térmico pero menores a los IEE de la PSH sin tratamiento térmico y mayores a los de PSH con tratamiento térmico.

Estos resultados indican que el tratamiento de calentamiento en condiciones de humedad controlada de mezclas de proteína y pectina permitió obtener complejos conjugados como producto de la reacción de Maillard que mejoran la estabilidad de emulsiones o/w de las proteínas sin mezclar. La pectina extraída del tomate formó conjugados que presentaron propiedades estabilizantes similares a las de los conjugados de pectinas comerciales PAM y PBMA (Alancay y col., 2017). Un resultado que se destaca del estudio de las propiedades estabilizantes en emulsiones o/w es el valor de IEE de la PSH sin mezclar y sin incubar, que fue el más alto según los registros.

### *Concentrado de proteínas de suero de leche de cabra*

En nuestros estudios formulamos emulsiones de aceite en agua (o/w) utilizando CPSc y CPSb como agentes emulsionantes.

Todas las emulsiones fueron estables frente a la coalescencia, aunque presentaron cremado. Por otra parte, el índice de actividad emulsificante (IAE) a pH 7 fue mayor para las emulsiones preparadas con CPSc principalmente cuando la fracción volumétrica fue de 0,2. La fracción volumétrica es la relación entre el volumen de la fase lipídica y el volumen total (fase lipídica y fase acuosa). Sin embargo, a pH 4 el IAE fue más alto para las emulsiones preparadas con CPSb.

El índice de estabilidad de la emulsión (ESI) medido 24 h después de la preparación de la emulsión fue ligeramente mayor para las emulsiones con CPSb y fracción volumétrica de 0,2.

El índice de cremado (%IC) fue independiente de la concentración de proteínas (1%, 2% y 3% (p/p)) y se mantuvo constante durante 60 días de almacenamiento a 30 °C, en las emulsiones preparadas tanto con CPSc como en las elaboradas con CPSb. En general, el IAE, el %IC y la estabilidad fueron independientes del aumento de la concentración de proteínas en las emulsiones. Esto indicaría que se pueden formular emulsiones o/w empleando concentraciones muy bajas de CPSc como agente emulsificante. Además, se estudió el efecto de la incorporación en las emulsiones de un espesante utilizado en la industria alimentaria como lo es la goma xántica (0,5% y 1 %), la cual aumentó la estabilidad a un 100%.

## Conclusiones

Los resultados encontrados en estos estudios dan cuenta del alto potencial de reemplazo que tienen el mucílago de nopal, la pectina extraída de desechos de la industria tomatera y el concentrado de suero de leche de cabra, frente a los hidrocoloides empleados frecuentemente en la formulación de alimentos. Los hallazgos de esta investigación permitirían re-

valorizar los recursos regionales y agregar valor mediante el desarrollo de alimentos con buenas propiedades de textura a partir de la incorporación de estos hidrocoloides.

## Bibliografía

- Amin, El, Awad, Olfat y El-Sayed, M (1970). "The mucilage of *Opuntia ficus-indica* Mill". *Carbohydrate Research*. (15), pp. 159-161.
- Alancay, Matías Miguel, Lobo, Manuel Oscar, Quinzio, Claudia Marcela e Iturriaga, Laura Beatriz (2017). "Extraction and physicochemical characterization of pectin from tomato processing waste". *Journal of Food Measurement and Characterization*. (11), pp. 2119–2130.
- AOAC (1995). *Official Methods of Analysis*. Arlington, Virginia: Association of Official Analytical Chemists.
- AOCS (1998). *Official and Tentative Methods of the American Oil. Chemistry Society* (5<sup>th</sup> ed.). Chicago, Illinois, U.S.A: American Oil Chemists Society.
- Atra, Ramadan, Vatai, Gyula, Bekassy-Molnar, Erika y Balint Agnes (2005). "Investigation of ultra and nanofiltration for utilization of whey protein and lactose". *J. Food Eng.* (67), pp. 325-332.
- Ayunta, Carolina Anabel, Quinzio, Claudia Marcela, Puppo, María Cecilia e Iturriaga, Laura Beatriz (2019). "Physicochemical properties of caprine and commercial bovine whey protein concentrate". *Journal of Food Measurement and Characterization*. (13), pp. 2729–2739.
- Baldasso, Camila, Barros, Tatiana y Tessaro, Isabel Cistina (2011). "Concentration and purification of whey proteins by ultrafiltration. *Desalination*. (278), pp. 381-386.
- Basanta, María F, Ponce, Nora M A, Rojas, Ana M y Stortz, Carlos A (2012). "Effect of extraction time and temperature on the characteristics of loosely bound pectins from Japanese plum". *Carbohydrate Polymers*. (89), pp. 230–235.
- Bennett, Rodney (1997). "Membrane applications in the New Zealand dairy industry". *Dairy Technology*. (1), pp. 8–10.
- Britten, Michel y Giroux, Helene (1991). "Coalescence index of protein stabilized emulsions". *Journal of Food Science*. (56), pp. 792-795.

- Cárdenas, Adriana, Higuera Ciapara, Inocencio y Goycoolea, Francisco (1997). "Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus indica*) mucilage in solution". *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. (2), pp. 152-157.
- Chen, Hau, Qiu, Shuang, Gan, Jing, Liu, Yan, Zhu, Qiaomei y Yin, Lijun (2016). "New insights into the functionality of protein to the emulsifying properties of sugar beet pectin". *Food Hydrocolloids*. (57), pp. 262–270.
- Cheryan, Munir (1986). *Ultrafiltration handbook*. USA: Technomic Publishing Co.
- Cubero, Nuria, Monferrer, Albert y Villalta, Jordi. (2002). *Aditivos Alimentarios*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Dagorn-Scaviner, Catherine, Guéguen, Jacques y Lefebvre, Jacques (1987). "Emulsifying properties of pea globulins as related to their adsorption behaviors". *Journal of Food Science*, (52), pp. 335-341.
- Damodaran, Srinivasan (2005). "Protein stabilization of emulsions and foams". *Journal of Food Science*. (70), pp. 54-66.
- Dickinson, Eric (1992). "Emulsion stabilization by protein/polysaccharides complexes". En G. Phillips, D. Wedlock, & P. Williams *Gums and Stabilisers for the Food Industry* (pp. 351-362). Oxford: IRL Press.
- Dickinson, Eric, Hunt, Josephine y Horne, David (1992). "Calcium induced flocculation of emulsions containing adsorbed beta--caseine or phosvitin". *Food Hydrocolloids*. (6), pp. 359-370.
- Dickinson, Eric (1995). "Emulsions stabilization by polysaccharides and protein-polysaccharide complexes". En A.M. Stephen. *Food Polysaccharides and their applications* (pp. 501-515). Marcel Dekker, New York.
- Dickinson, Eric y Golding, Matt (1997a). "Depletion flocculation of emulsions containing unadsorbed sodium caseinate". *Food Hydrocolloids*. (11), pp. 13-18.
- Dickinson, Eric. (2003). "Hydrocolloids at interfaces and the influence on the properties of dispersed systems". *Food Hy-*



- drocolloids*. (17), pp. 25-39.
- Forni, Elisabetta, Penci, M y Polesello, Andrea (1994). "A preliminary characterization of some pectins from quince fruit (*Cydonia oblonga* Mill.) and prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) peel". *Carbohydrate Polymer*. (23), pp. 231-234.
- Friberg, Stig (1997). "Emulsion stability". En Friberg SE y Larsson K. *Food Emulsions 3rd Ed.* (pp. 1-56). New York: Marcel Dekker.
- Garti, Nissim y Reichman, Dov (1993). "Hydrocolloids as food emulsifiers and stabilizers". *Food Structure*. (12), pp. 411-426.
- Goycoolea, Francisco y Cárdenas, Adriana (2004). "Pectins from *Opuntia* spp: a short review". *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. (5), pp. 17-29.
- Haenlein, George y Caccese, R (1984). "Goat milk versus cow milk". En G. A. Haenlein, *Extension Goat Handbook* (pp. 1, E-1.). Washington, DC: USDA.
- Hayati, Nor, Che Man, Bin, Tan, Ping y Aini, Nor (2007). "Stability and rheology of concentrated O/W emulsions based on soybean oil/palm kernel olein blends". *Food Research International*. (40), pp. 1051-1061.
- Heuzé, Valeri, Tran, Gilles, Hassoun, Philippe, Bastianelli, Denis y Lebas, François (2015). Tomato pomace, tomato skins and tomato seeds. *Feedipedia*. <http://www.feedipedia.org/node/689>
- Horwitz, William (2005). *Official Methods of Analysis* (18th ed.). Gaithersburg, MD. U.S.A: Association of Official Analyst Chemists.
- Huang, Xuesong, Kakuda, Yukio y Cui, Steve W (2001). "Hydrocolloids in emulsions: Particle size distribution and interfacial activity". *Food Hydrocolloids*. (15), pp. 533-542.
- Ibarz, Albert, Pagán, Axel, Tribaldo, Francesco y Pagán, Jordi (2006). "Improvement in the measurement of spectrophotometric data in the m-hydroxydiphenyl pectin determination methods". *Food Control*. (17), pp. 890-893.
- Klavons, Jerome y Bennett, Raymond (1986). "Determination of methanol using alcohol oxidase and its application to

- methyl ester content of pectins". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (34), pp. 597–599.
- Keowmaneechai, Eakaphan (2002). "Influence of EDTA and citrate on physicochemical properties of whey protein-stabilized oil-in-water emulsions containing  $\text{CaCl}_2$ ". *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. (50), pp. 7145–7153.
- Koubala, Benoît Bargui, Kansci, Germain, Mbome Israel Lape, Crépeau, Marie-Jeanne, Thibault, Jean-Francois y Ralet, M. C. (2008). "Effect of extraction conditions on some physicochemical characteristics of pectins from "Améliorée" and "Mango" mango peels". *Food Hydrocolloids*. (22), pp. 1345–1351.
- Kulkarni, Shyamrao Gururao y Vijayanand, Pasupuleti (2010). "Effect of extraction conditions on the quality characteristics of pectin from passion fruit peel (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* L.)". *Food Science and Technology*. (43), pp. 1026–1031.
- Lissant, Kenneth (1974). *Emulsions and Emulsion Technology*. New York: Marcel Dekker.
- Lefsih, Khalef, Delattre, Cedric, Pierre, Guillaume, Michaud, Phillipp, Aminabhavi, Tejraj, Dahmoune, Farid y Madani, Khodir (2016). "Extraction, characterization and gelling behavior enhancement of pectins from the cladodes of *Opuntia ficus indica*". *International Journal of Biological Macromolecules*. (82), pp. 645–652.
- Lucassen-Reynders, Emmie (1993). "Interfacial viscoelasticity in emulsions and foams". *Food Structure*. (12), pp. 1-12.
- Mancini, Francesco, Montanari, Luigi, Peressini, Donatella y Fantozzi, Paolo (2002). "Influence of alginate concentration and molecular weight on functional properties of mayonnaise". *Lebensm Wiss Technology*. (35), pp. 517-525.
- Marcotte, Michele, Hoshahili, Ali y Ramaswamy, Hosahalli (2001). "Rheological properties of select hydrocolloids as a function of concentration and temperature". *Food Reserchs International*. (34), pp. 695-703.
- Matsuhiro, Betty, Sàenz, Carmen, Urzúa, Carlos y Zárata, Oriette (2006). "Chemical characterization of mucilage from

- fruit of *Opuntia ficus-indica*". *Carbohydrate Polymer*. (63), pp. 263-267.
- McClements, David (1999). *Food Emulsion: Principles, Practice and Techniques*. New York: CRC Press.
- McGarvie, Donald y Parolis, Haralambos (1979). "The mucilage of *Opuntia ficus-indica*". *Carbohydrate Research*. (69), pp. 171-179.
- McGarvie, Donald y Parolis, Haralambos (1981). "The mucilage of *Opuntia ficus-indica*. Part 4. The acid-labile, peripheral chains of mucilage of *Opuntia ficus-indica*". *Carbohydrate Research*. (94), pp. 57-65.
- Medina-Torres, Luis, Brito-De La Fuente, Edmundo, Torres-tiana-Sánchez, Beatriz y Katthain, Raúl (2000). "Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*)". *Food Hydrocolloids*. (14), pp. 417-424.
- Mindt, Lothar, Saag, Karl, Sanderson, George, Moyna, Patrick y Ramos, Gerardo (1975). "Cactaceae mucilage composition". *Journal of Science of Food and Agriculture*. (26), pp. 993-1000.
- Mitidieri, Flavio y Wagner, Jorge (2002). "Coalescence of o/w emulsions stabilised by whey and isolate soybean proteins. Influence of thermal denaturation, salt addition and competitive interfacial adsorption". *Food Research International*. (35), pp. 547-557.
- Mollea, Chiara, Chiampo, Fulvia y Conti, R. (2008). "Extraction and characterization of pectins from cocoa husks: A preliminary study". *Food Chemistry*. (107), pp. 1353-1356.
- Morrison, Ian y Ross, Sydney (2002). *Colloidal Dispersions: Suspensions, Emulsions and Foams*. New York: Wiley.
- Mu, Minfang, Pan, Xiaoyun, Yao, Ping y Jiang, Ming (2006). "Acidic solution properties of casein-graft-dextran copolymer prepared through Maillard reaction". *Journal of Colloid and Interface Science*. (301), pp. 98-106.
- Nakai, Shuryo (1983). "Structure function relationships of food proteins with an emphasis on the importance of protein hydrophobicity". *Journal Agricultural Food Chemical*. (31),

- pp. 676-683.
- Obermeyer, H. D, Kulozik, Ulrich y Kessler, Heinz Gerhard (1993). "Controlled deposit formation to influence the retention of solutes in reverse osmosis and ultrafiltration". *Desalination*. (90), pp. 161-172.
- Palatnik, Diana R, Ostermann Porcel, María Victoria, González, Ulises, Zaritzky, Noemí y Campderrós, Mercedes (2015). "Recovery of caprine whey protein and its application in a food protein formulation". *LWT - Food Science and Technology*. (63), pp. 331-338.
- Park, Young-woo (1994). "Hypo-allergenic and therapeutic significance of goat milk". *Small Ruminant Research*. (14), pp. 151-161.
- Park, Young-Woo, Juárez, Manuela, Ramos, Mercedes y Haenlein, George (2007). "Physico-chemical characteristics of goat and sheep milk". *Small Ruminant Research*. (68), pp. 88-113.
- Park, Young y Chukwu, Hyginus (1989). "Trace mineral concentrations in goat milk from French-Alpine and Anglo-Nubian breeds during the first 5 months of lactation". *Journal of Food Composition and Analysis*. (2), pp. 161-169.
- Paulsen, Berit Smestad y Lund, Per Steinar (1979). "Water-soluble polysaccharides of *Opuntia ficus-indica* CV Bubank's spineless". *Phytochemistry*. (18), pp. 569-571.
- Paulionis, Lina, Walters, B y Li, Katherine (2015). "Authorised EU health claims on pectins". En M. J. Sadler (Ed.), *Foods, Nutrients and Food Ingredients with Authorised EU Health Claims: Volume 2* (2nd ed., pp. 153-174). Cambridge, UK: Elsevier.
- Pearce, Kevin y Kinsella, John (1978). "Emulsifying properties of food proteins: evaluation of turbidimetric technique". *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. (26), pp. 716-723.
- Phillips, Glyn y Williams, Peter (2000). *Handbook of Hydrocolloids*. Cambridge: Woodhead Publisier.
- Pilosof, Ana M (2000). "Gelificación". En Pilosof, A. M. y Gualterio, B. B. *Caracterización funcional y estructural de pro-*

- teínas* (pp. 75-95). Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- Quintana, Justo, Califano, Alicia, Zaritzky, Noemi y Partal, Pedro (2002a). "Effect of salt on the rheological properties of low-in-fat o/w emulsions stabilized with polysaccharides". *Food science and Technology International*. (8), pp. 213-222.
- Quinzio, Claudia Marcela, Ayunta, Carolina Anabel, Alancay, Matías Miguel, López de Mishima, Beatriz Alicia e Iturriaga, Laura Beatriz (2017). "Physicochemical and rheological properties of mucilage extracted from *Opuntia ficus indica* (L. Miller). Comparative study with guar gum and xanthan gum". *Journal of Food Measurement and Characterization*. (12), pp. 459-470.
- Quinzio, Claudia Marcela, Ayunta, Carolina Anabel, López de Mishima, Beatriz Alicia e Iturriaga, Laura Beatriz (2018). "Stability and rheology properties of oil-in-water emulsions prepared with mucilage extracted from *Opuntia ficus-indica* (L. Miller)". *Food Hydrocolloids*. (84), pp. 154-165.
- Ramsden, Lawrence (2004). "Plant and Algal Gums and Mucilage". Chapter 15. En *Chemical and functional properties of food saccharides*. New York: Priotr Tomasik.
- Sanmartín, Beatriz, Díaz, Olga, Rodríguez-Turienzo, Laura y Cobos, Angel (2012). "Composition of caprine whey protein concentrates produced by membrane technology after clarification of cheese whey". *Small Ruminant Research*. (105) pp. 186-192.
- Saravia-Tasayco, Pablo (2004). *Cluster de nopal. Programa fundamental para el desarrollo del Estado de México hacia 2005 y de competitividad visión 2020*. Toluca, México: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Stainsby, George (1986). "Foaming and emulsification". En *J. Mitchell, & D. Ledward, Functional Properties of Food Macromolecules* (pp. 315-353). Reino Unido: Elsevier Applies Publishers.
- Sava, Nicoleta, Van der Plancken, Iesl, Claeys, Wendie y Hendrickx, Marc (2005). "The Kinetics of Heat-Induced Struc-

- tural Changes of  $\beta$ -Lactoglobulin". *Journal of dairy science*. (88), pp. 1646-1653.
- Schmidt, Ronald y Morris, Howard (1984). "Gelation properties of milk proteins, soy proteins and blended protein systems". *Food Technol.* 38 (5), pp. 85-96.
- Schokker, Erix, Bos, Martin, Kuijpers, Alma, Wijnen, Marlies y Walstra, Pieter (2002). "Spreading of oil from protein stabilised emulsions at air/water interfaces". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* (26), pp. 315-327.
- Stephen, Alistair, Phillips, Glyn y Williams, Peter (2006). "Food Polysaccharides and Their Applications". En P. A. Williams, A. M. Stephen, & G. O. Phillips (Eds.) *Food Science and Technology* (Second, pp. 353-412). Boca Raton, Florida, USA: CRC Taylor & Francis Group.
- Sudzuki, Fusa, Muñoz, Claudia y Berger, Horst (1993). *El cultivo de la tuna* (Cactus Pear). Santiago: Departamento de reproducción agrícola, Universidad de Chile.
- Tadros, Tharwat (2004). "Application of rheology for assessment and predictions of the long-term physical stability of emulsions". *Advances in Colloid and Interface Science*. (68), pp. 97-200.
- Thakur, Beli, Singh, Rakes, Handa, Avtar y Rao, Moham (1997). "Chemistry and Uses of Pectin". *Food Science and Nutrition*. (37), pp. 47-73
- Tamnak, Sahar, Mirhosseini, Hamed, Tan, Chin, Ghazali, Hasanah y Muhammad, Kharidah (2016). "Physicochemical properties, rheological behavior and morphology of pectin-pea protein isolate mixtures and conjugates in aqueous system and oil in water emulsion". *Food Hydrocolloids*. (56), pp. 405-416.
- Ting, I. (1997). "Carbohydrate metabolism in cacti: Gums and Mucilage". *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. (2), pp. 7-12.
- Trachtenberg, Shlomo y Mayer, Alfred (1981). "Composition and properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage". *Phytochemistry*. (20), pp. 2665-2668.

- Trachtenberg, Shlomo y Mayer, Alfred (1982). "Biophysical properties of *Opuntia ficus-indica* mucilage". *Phytochemistry*. (21), pp. 2835-2843.
- Van Buggenhout, Sandy, Sila, D. N, Duvetter, Thomas, Van Loey, Ann y Hendrickx, Marc (2009b). "Pectins in Processed Fruits and Vegetables: Part II- Structure Function Relationships." *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. (8), pp. 105–117.
- Velázquez, Ernesto (1998). *El nopal y su historia*. México: Editorial Clío.
- Ventura, Miriam, Pieltain, M. C y Castanon, José (2009). "Evaluation of tomato crop by-products as feed for goats". *Animal Feed Science and Technology*. (154), pp. 271–275.
- Whistler, Roy (1993). "Introduction to industrial gums". En R. Whistler, & J. Be Miller, *Industrial Gums: Polysaccharides and Their Derivatives* (pp 1-19). San Diego: Academic Press.
- Xu, Duoxia, Wang, Xiaoya, Jiang, Junping, Yuan, Fang y Gao, Yanxiang (2012). "Impact of whey protein - Beet pectin conjugation on the physicochemical stability of carotene emulsions". *Food Hydrocolloids*. (28), pp. 258–266.

## CARACTERIZACIÓN SUPERFICIAL DE SISTEMAS LIPÍDICOS BIOMIMÉTICOS

ANÍBAL DISALVO<sup>1</sup>; MARÍA A. FRÍAS<sup>1</sup>; ANTONIO SEBASTIÁN ROSA<sup>1</sup>;  
HUGO A. PÉREZ<sup>1</sup>; JIMENA DEL PILAR CEJAS<sup>1</sup>;  
NOELIA A. SORIA<sup>1</sup>; LINA G. MOHTAR<sup>1</sup>

### Resumen

Los sistemas biomiméticos más utilizados en los estudios de membranas biológicas son las vesículas lipídicas, en las cuales los lípidos se organizan en una bicapa encerrando un volumen acuoso, y las monocapas de lípidos extendidas sobre la superficie aire/agua. En ambos sistemas, la hidratación de los lípidos determina propiedades termodinámicas y estructurales fundamentales para entender la respuesta al medio ambiente (estrés hídrico, antioxidantes, enzimas, péptidos). Entre ellas se mencionan la distribución del agua en los grupos PO, CO y CH<sub>2</sub>, las propiedades mecánicas en procesos de expansión-contracción, los potenciales superficiales y la inserción de iones, péptidos y enzimas en la membrana.

1 Centro de Investigaciones en Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL), UNSE – CONICET.



En este capítulo se presentan resultados relevantes a nivel microscópico, mesoscópico y macroscópico mediante espectroscopía infrarroja, espectrofluorometría, compresibilidad y adsorbabilidad en monocapas y bicapas.

Basado en estos estudios, se postula un modelo de membrana lipídica superador que incorpora las propiedades del agua al comportamiento de la membrana. El contacto lípido/agua genera una solución acuosa bidimensional en la cual las cabezas polares de los fosfolípidos se encuentran sumergidos en agua con sus capas de hidratación. El análisis de las propiedades de membrana, según este modelo, está basado en la termodinámica de procesos irreversibles y considera a la interfase como un sistema abierto con respecto al agua. Se describen brevemente las estrategias experimentales que se desarrollaron en los últimos años para poner en valor el rol de la hidratación de los lípidos en su funcionalidad y en las respuestas de las membranas a las condiciones del medio que puedan alterarla. Estos estudios en sistemas biomiméticos son la base de proyección para comprender la respuesta de sistemas de interés biotecnológico y alimentario como células vegetales y bacterias, en donde la actividad del agua es esencial para su estabilidad y conservación.

Palabras claves: membranas lipídicas- sistemas biomiméticos- hidratación- espectroscopía infrarroja- espectrofluorescencia- presión superficial-potencial dipolar-potencial zeta.

## Abstract

Biomimetic systems composed by lipids are frequently used to study the basic features of biological membranes. The experimental models consist of vesicles enclosed in lipid bilayers and of monolayers spread of an air water surface.

In both systems, the hydration of the lipids is determinant for the thermodynamic stability and structural dynamics and are a clue to understand the response of membrane to environment and biologically relevant bioeffectors (hydric and oxidative stress, hydrolytic enzymes, peptides antioxidants).

Water is distributed around the membrane's groups such as PO, CO y CH<sub>2</sub>, and its exchange determines the mechanical properties in osmotic expansion and contraction, surface potentials, and insertion and adsorption of ions, peptides and enzymes.

In this chapter, recent results obtained at microscopic, mesoscopic and macroscopic level using infrared spectrometry (FTIR/ATR), spectrofluorometric, monolayer compressibility and surface tension in monolayers and bilayers.

On the base of these studies, a new model of lipid membrane is proposed that overcomes the classical ones in which water presence is ignored. In the new proposal, the lipid water interaction is included considering the membrane as composed as a bidimensional solution of hydrated polar groups that extends between the hydrocarbon region and the water solution.

This model can be sustained in terms of the application of the formalism of Thermodynamics of Irreversible Processes, in which the membrane is considered as an open system in respect to water exchange.

Briefly, the strategies employed to make relevant the role of hydration and its consequence on the membrane response. These studies in biomimetic systems are the basis to project and apply new concepts in the development of systems of biotechnological interest both for therapeutical and agrochemical purposes.

Key words: lipid membranes; biomimetic systems; hydration; infrared spectroscopy; spectrofluorometric; surface pressure; dipole potential; zeta potential.

## Introducción

*Dr. Disalvo, E.A (Dir.); Dra. Frías, M.A.*

Los sistemas biomiméticos son aquellos que tratan de reproducir, al menos en parte, las propiedades de sistemas biológicos enteros. En particular, el estudio de la estructura y función de membranas celulares ha avanzado considerablemente cuando se implementaron sistemas experimentales modelo que mimetizan a la membrana lipídica. Las ventajas de estos sistemas es que permiten trabajar a composición y condiciones controladas, lo que favorece la comprensión del rol de cada componente en la membrana y su contribución a las propiedades funcionales como, por ejemplo, permeabilidad, potenciales eléctricos, propiedades mecánicas, etc.

Los sistemas biomiméticos más utilizados en los estudios de membranas biológicas son las vesículas lipídicas, en las cuales los lípidos se organizan en una bicapa cerrada que encierran un volumen acuoso, y las monocapas de lípidos extendidas sobre la superficie aire/agua. Si bien tanto en monocapas como en bicapas se puede trabajar a composición de lípidos controladas en mezclas de diferentes componentes, en las monocapas el área por lípido se determina en forma directa, mientras que en bicapas es necesario realizar algunas consideraciones sobre la ubicación del agua a partir de datos de espesor de bicapa obtenidos por medio de rayos x de pequeños ángulos. Por otro lado, las bicapas son excelentes para determinar las propiedades de permeabilidad y los efectos de la osmolaridad aun cuando la presión superficial de los lípidos no esté controlada.

Por estas razones, ambos sistemas se complementan ya que los estudios con cada uno de ellos aportan información del efecto de diferentes variables. Sin embargo, existe aún hoy una polémica entre la validez y correspondencia de las propiedades entre bicapas y monocapas.

A pesar de la gran ventaja de estos sistemas para describir las propiedades de las membranas en relación con el comportamiento de componentes individuales y su combinación, todavía son muy limitados para predecir y reproducir los fenómenos de la membrana celular. Esto se debe al hecho de que la fase de membrana se toma como un sistema aislado sin intercambio de materia y energía con los alrededores. Esta omisión ha derivado en la inexistencia de un criterio unificador que permita comprender y evaluar las respuestas de ambos sistemas desde el punto de vista termodinámico. Si bien la información experimental y de dinámica molecular ha permitido establecer con cierto grado de certeza que la región de contacto entre los lípidos y la fase acuosa son equivalentes, no existe un formalismo común tanto estructural como termodinámico que las unifique.

Cuando una solución clorofórmica de lípidos se esparce sobre una superficie de agua y aire, se forma una monocapa (Marsh, 1996; Dynarowicz-Łątka *et al.*, 2001). En la interpretación fenomenológica de las monocapas ha prevalecido el enfoque por el cual los lípidos sobre la superficie del agua se comportan como un gas bidimensional y que, por lo tanto, las isothermas de presión superficial/área por molécula son análogas a las curvas presión/volumen descritas por la ecuación de van der Waals. Sin embargo, este enfoque no considera la interacción del agua con los lípidos y, por lo tanto, no reproducen los datos experimentales.

Por otro lado, cuando los lípidos secos se suspenden en agua, se organizan espontáneamente en bicapas, formando liposomas multilaminales.

La hidratación de las membranas lipídicas ha sido objeto de discusión y análisis, ya que su comportamiento determina las propiedades críticas de las funciones biológicas (Sparr y Wennerström, 2001; Damodaran, 1998; Damodaran y Merz, 1994; Luckey, 2014) que adquiere relevancia cuando las célu-

las sufren estrés hídrico, térmico o salino. Varios estudios han prestado atención a la contribución del agua para determinar el espesor y el área de las membranas lipídicas (Parsegian *et al.*, 2000; Tristram-Nagle y Nagle, 2004), estructura y estabilidad de la membrana (Roy *et al.*, 2016), y su influencia en las propiedades de permeabilidad (Disalvo y De Gier, 1983; Del Regno y Notman, 2018). Sin embargo, a pesar de la gran cantidad de información obtenida mediante diferentes técnicas (RMN, difracción de rayos X y espectroscopía FTIR) que demuestran claramente que el agua es un factor principal en la estructura de la membrana (Disalvo, 2015; Jendrasiak, 1996; Jendrasiak y Smith, 2001; Binder, 2007; Fitter *et al.*, 1999; Milhaud, 2004; Disalvo y Frías, 2013), los modelos de membrana vigentes no tienen en cuenta el agua como un componente estructural y activo en términos de respuesta termodinámica.

En este trabajo se postula un modelo superador que incorpora las propiedades del agua al comportamiento de la membrana. Este modelo considera que el contacto lípido/agua genera una solución acuosa bidimensional en la cual las cabezas polares de los fosfolípidos se encuentran sumergidos en agua con sus capas de hidratación. Dicha solución bidimensional constituye una interfase (es decir, una fase compuesta por cabezas polares hidratadas) entre la zona hidrocarbonada y la fase acuosa (Figura 1).

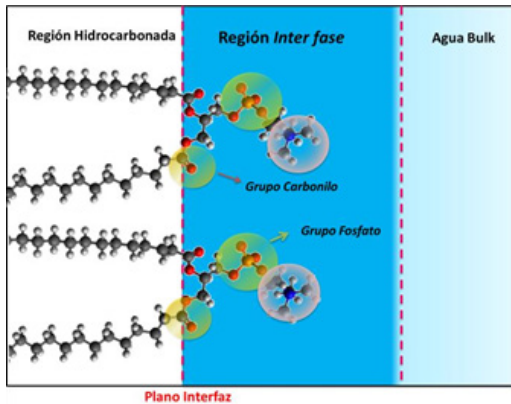


Figura 1. Modelo de membrana que considera una solución bidimensional de grupos polares hidratados entre la zona hidrocarbonada y el agua *bulk*. La zona azul corresponde a agua débilmente ligada y los círculos al agua de hidratación de grupos polares.

El análisis de las propiedades de membrana, según este modelo, está basado en la termodinámica de procesos irreversibles y considera a la interfase como un sistema abierto con respecto al agua. Si se tienen en cuenta las condiciones de actividad de agua y temperatura para una dada composición, el formalismo derivado ha permitido establecer la equivalencia entre monocapas y bicapas.

Asimismo, permite distinguir en principio dos tipos de agua en la membrana: una ligada a los grupos polares (hidratación primaria) y otra en capas secundarias que se extiende hacia la zona no polar denominada agua confinada. La conversión entre ellas permite entender muchos procesos complejos como inserción de aminoácidos, péptidos y antioxidantes y la actividad enzimática superficial. Este modelo contrasta con la definición de interfaz que refiere a un plano imaginario que pasa por la zona de los grupos carbonilos en la región de los

glicerofosfatos (ver Figura 1).

Como puede observarse, el modelo de la solución bidimensional pone en relevancia las propiedades de la zona polar de la membrana dándole un rol tan importante como la zona de las cadenas hidrocarbonadas. Trabajos recientes del laboratorio han logrado establecer una correlación entre las dos zonas en la cual los grupos carbonilos juegan un rol determinante.

Con esta base, este capítulo trata brevemente sobre las estrategias experimentales que se desarrollaron en los últimos años para poner en valor el rol de la hidratación de los lípidos en su funcionalidad y en las respuestas de las membranas a las condiciones del medio que puedan alterarla. Estos estudios en sistemas biomiméticos son la base de proyección para comprender la respuesta de sistemas de interés biotecnológico y alimentario como células vegetales y bacterias, en donde la actividad del agua es esencial para su estabilidad y conservación.

Las metodologías experimentales empleadas en estos estudios y sus aportes están presentados en las siguientes sesiones:

- 1.- Estudio de la hidratación de membranas lipídicas por medio de espectroscopía infrarroja.
- 2.- Determinación de diferentes tipos de agua por espectroscopía de fluorescencia. Influencia del colesterol.
- 3.- Influencia de factores físicos y químicos sobre la hidratación de membranas. Estudios en monocapas lipídicas.
- 4.- Consecuencia de los estados de hidratación sobre las propiedades superficiales de membranas.
- 5.- Conclusión y perspectivas.

## 1.- Estudio de la hidratación de membranas lipídicas por medio de espectroscopía infrarroja

*Lic. Rosa, Antonio Sebastián*

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) es una técnica potente y no perturbadora que se ha utilizado con buenos resultados para la detección y caracterización de transiciones de fase en membranas lipídicas modelo y naturales. Esta técnica permite obtener información detallada sobre la estructura y organización de las membranas y otros conjuntos de lípidos en condiciones biológicamente relevantes (Lewis y McElhane, 2007).

Las ventajas que aporta son su independencia con respecto al tamaño de las moléculas a estudiar, su estado físico o la naturaleza del entorno de la muestra, así como la detección de estructuras de vida media muy baja, del orden de femtosegundos.

La espectroscopía FTIR se basa en los cambios en la energía vibracional de los enlaces al absorber la radiación infrarroja. Si las frecuencias de la radiación incidente y de la vibración de sus enlaces coinciden, la molécula absorbe energía. Se puede decir, por lo tanto, que los enlaces actúan de "cromóforos", por lo que este tipo de espectroscopía no necesita de sondas añadidas a la estructura en estudio. Tanto la frecuencia de la vibración como la probabilidad de que se produzca la absorción de energía dependen de la fuerza y de la polaridad de los enlaces, por eso la influencia de elementos intra e intermoleculares es importante, permitiendo así el estudio de interacciones y cambios inducidos por el entorno (Van De Weert *et al.*, 2001).

El gráfico que representa la intensidad de radiación infrarroja absorbida (transmitancia o absorbancia) en función del número de onda es lo que se conoce como espectro infrarrojo



(Figura 2A).

Todas las biomoléculas poseen niveles energéticos de vibración en el intervalo del infrarrojo medio comprendido entre 3000-600  $\text{cm}^{-1}$  y presentan múltiples grados de libertad vibracional (Barth y Zscherp, 2002), lo que genera espectros de absorción complejos con solapamientos entre bandas. En el caso particular de los lípidos y de estructura de membranas lipídicas, el espectro de infrarrojo se compone de todas las posibles vibraciones de sus grupos químicos, que se solapan dando bandas complejas formadas por varios componentes (Figura 2A).

#### *espectroscopía por reflexión total atenuada*

La espectroscopía por reflexión total atenuada (*Attenuated Total Reflection: FTIR-ATR*) es una técnica de muestreo utilizada en el campo de infrarrojo, la cual se produce cuando una radiación infrarroja incide en un cristal transmisor y de alto índice de refracción. El cristal está diseñado para permitir una reflexión interna total que crea una onda evanescente sobre la superficie del cristal (Figura 2B).

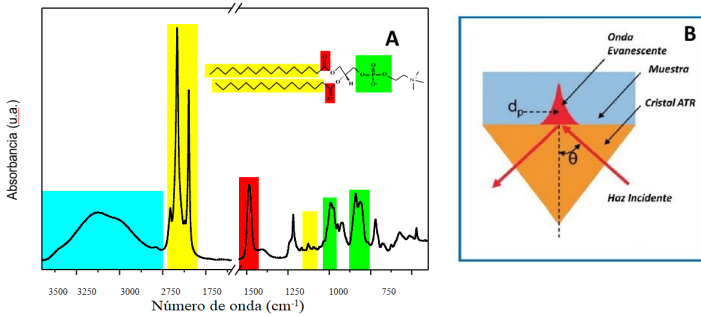


Figura 2. A) Espectro de lípido puro: 1,2-dipalmitoil-sn-glicero-3-fosfolina (16:0 PC-DPPC) a 25°C. Cada zona marcada con colores corresponde a cadenas hidrocarbonadas en amarillo, fosfatos en verde, carbonilos en rojo y banda de agua en cian con su correspondiente banda de vibración en el espectro. B)  $\theta$  es el ángulo del haz incidente;  $d_p$  penetración.

Esta onda se extiende a la muestra que se mantiene en íntimo contacto con el cristal y se registra el espectro infrarrojo. Las absorbancias, aunque dependen del ángulo de incidencia, son independientes del espesor de la muestra, debido a que la radiación solo penetra unos pocos micrómetros.

FTIR-ATR es una técnica particularmente útil para examinar las interacciones péptido- membrana, la dinámica de lípidos y conformación de proteínas de membrana (Menestrina *et al.*, 1999; Van De Weert *et al.*, 2001), la formación de fibras de insulina (Sharp *et al.*, 2002), la asociación de proteínas con bicapas de lípidos (Van De Weert *et al.*, 2001), la formación de bicapas lipídicas (Käsbauer *et al.*, 1999; Käsbauer & Bayerl, 1999), la orientación de proteínas en las superficies sólidas (Terrettaz *et al.*, 2002) y las interacciones lípido-polisacárido. El accesorio de ATR-punta de diamante en donde se coloca la muestra (Figura 3A) se acopla a una cámara para el control de temperatura y humedad relativa en el estudio de hidratación de

membranas. Este tipo de dispositivo permite controlar *in situ* la presión de vapor de agua (humedad relativa) a la que se someten las membranas en estudio. Para ello, se coloca una cápsula de teflón rodeando a la muestra conteniendo soluciones salinas saturadas de actividades de agua conocidas a temperatura controlada (Figuras 3B y C). Mediante el uso de soluciones saturadas de diferentes sales en agua destilada se obtienen valores específicos y constantes de humedad relativa dentro de la cámara de control según se determina mediante un instrumento de actividad de agua (Novasina THD- 200, Pfaeffikon, Suiza) acoplado al compartimiento de la muestra (Figura 3D). Todo el sistema está conectado a un baño de termostatación ( $\pm 0.1^\circ\text{C}$ ) (Gennaro *et al.*, 2019).

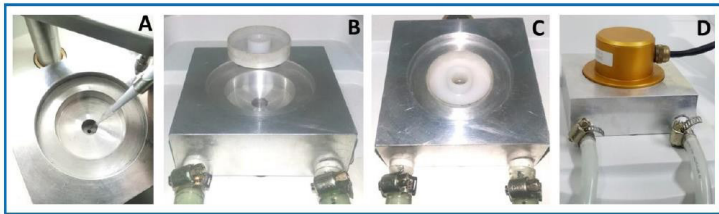


Figura 3. A) Siembra de la muestra sobre el cristal de diamante. B) Solución saturada de sal en recipiente de teflón. C) Inserción de la cápsula con solución saturada en compartimiento de control de temperatura. D) Acoplamiento con el detector de actividad de agua "Novasina".

Las membranas lipídicas son una de las matrices biológicas más importantes en las que tienen lugar los procesos bioquímicos. La disposición de lípidos en particular es impulsada por diferentes arreglos de agua que interactúan con ella y está relacionada con diferentes estados de agua con diferentes niveles de energía en la interfase. Los perfiles de agua cambian si los lípidos se encuentran en estado sólido, en estado gel y en estado líquido cristalino.

De los espectros obtenidos, se puede calcular el parámetro del contenido de agua relativo de la muestra ( $I_{\nu}H_2O/I_{\nu}CH_2$ ) durante el proceso de equilibrio hasta llegar a la humedad correspondiente mediante la relación entre la intensidad o área de la banda de agua con la intensidad o área de alguna banda específica de la muestra (Figuras 4A y B).

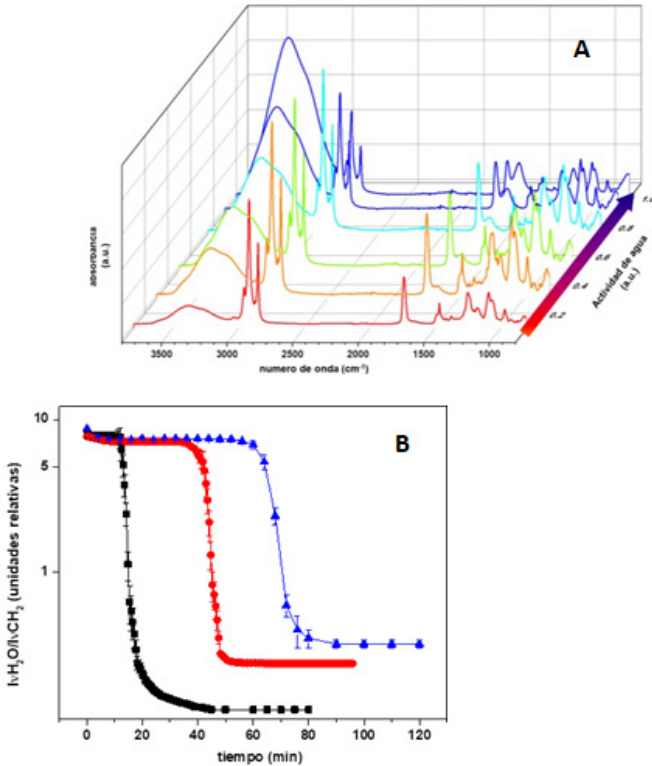


Figura 4. A) Evolución de los espectros de DPPC en función de actividad de agua. B) Evolución del contenido de agua relativo ( $I_{\nu}H_2O/I_{\nu}CH_2$ ) en bicapas de DPPC a lo largo del equilibrio, en humedades relativas controladas al 100% (triángulo azul); 75% (círculo rojo) y 11% (cuadrado negro) a 22 °C.

El seguimiento de la banda de agua de los lípidos ubicada en el rango espectral entre  $3400$  y  $600\text{ cm}^{-1}$  en función del tiempo permite identificar los grupos característicos de los lípidos que se estén estudiando y sus posibles interacciones con el agua. En aquellos casos en los que las bandas de absorción parecen ser una suma de los componentes, se utiliza una combinación de deconvolución Fourier y procedimientos de ajuste de curvas para obtener las estimaciones de la posición de las bandas de componentes para reconstruir el contorno de la envolvente de la banda original (Rosa *et al.*, 2019).

Los cambios en el contenido de agua y los estados de agua distintivos se estudiaron en una matriz auto ensamblada de 1,2-dimiristoil-sn-glicero-3-fosfocolina (DMPC) siguiendo los cambios en la frecuencia de vibración asimétrica de los grupos metilenos ( $-\text{CH}_2$ ) y la vibración simétrica de los grupos fosfato ( $-\text{PO}_2^-$ ) a diferentes humedades relativas.

El cambio de frecuencia de los grupos metilenos ( $-\text{CH}_2$ ) hacia valores más bajos con la deshidratación (Figura 5, línea roja) está relacionado con el acoplamiento intermolecular de ellos. De igual manera, la frecuencia de los grupos fosfato ( $-\text{PO}_2^-$ ) aumenta indicando una disminución de su esfera de hidratación (Disalvo *et al.*, 2013; Rosa *et al.*, 2020).

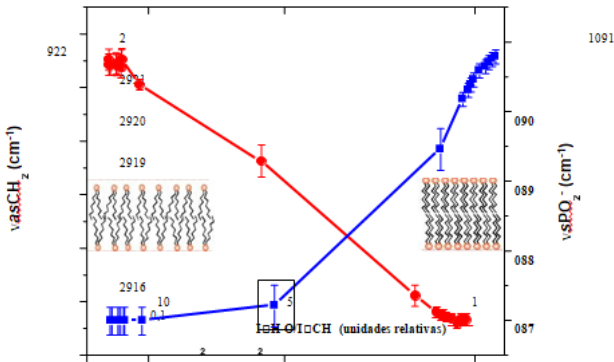


Figura 5. Efecto del contenido de agua sobre los grupos  $\nu_{PO_2^-}$  (cuadrado azul) y  $\nu_{CH_2}$  (círculo rojo) de DPPC inicialmente en fase líquida cristalina (50 °C).

Resultados publicados recientemente indican que existe cierto grado de cooperatividad entre los distintos sitios de hidratación durante los procesos de adsorción, en el sentido de que la ocupación de la región de los grupos fosfatos ( $-PO_2^-$ ) y/o cadenas acílicas es diferente según el estado de la fase, la longitud de la cadena, la presencia de los grupos carbonilo, tipo de cabeza polar y dobles enlaces (Rosa *et al.*, 2019).

La espectroscopía infrarroja permite analizar temperaturas de transición termotrópicas de distintos tipos de lípidos, mezclas lipídicas y el efecto sobre ellas de varios efectores en forma similar a los obtenidos por calorimetría diferencial de barrido (DSC).

En la Figura 6 se muestra la variación de la temperatura de transición con el porcentaje de humedad relativa seguido en los grupos  $-CH_2$ . La transición con la temperatura se desplaza a valores mayores con la disminución del contenido de agua en el rango de HR probado (30 a 100%) cuando se focaliza el grupo metileno ( $-CH_2$ ).

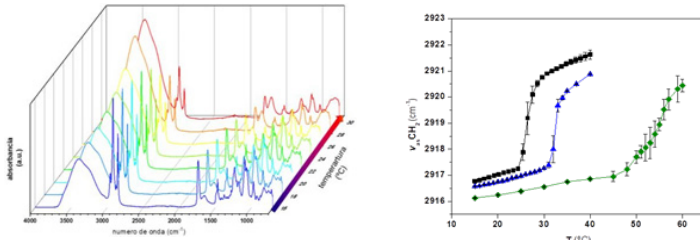


Figura 6. A) Evolución de los espectros de DMPC en función de la temperatura a una  $a_w=1$ . B) Efecto de la temperatura en la vibración asimétrica de los grupos metilenos ( $-CH_2$ ) para DMPC a diferentes humedades relativas 100% (cuadrados negros), 75% (triángulos azules) y 30% (diamantes verdes).

Los diferentes perfiles de absorción de agua a diferentes HR pueden estar relacionados con la organización del agua en las regiones de la membrana lipídica compuestas por grupos fosfato, carbonilo y metileno donde la interacción del agua es de diferente naturaleza y fuerza. Por lo tanto, es importante seguir los cambios de fase en cada una de esas regiones.

En la Figura 7 se analiza el efecto de la temperatura sobre la vibración simétrica de los grupos fosfato ( $-PO_2^-$ ) de bicapas de dimiristoilfosfatidilcolina (DMPC) con un largo de cadena de 14:0 a diferentes humedades relativas.

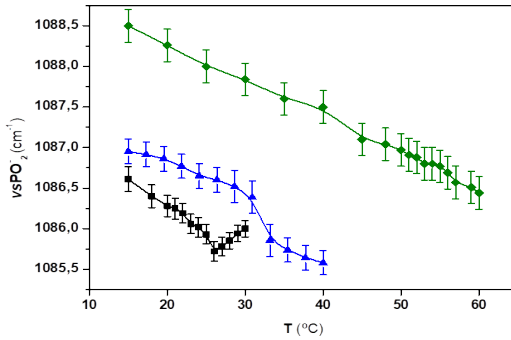


Figura 7. Efecto de la temperatura sobre la vibración simétrica de los grupos fosfato (-PO<sub>2</sub>-) para DMPC a diferentes humedades relativas 100% (cuadrados negros), 75% (triángulos azules) y 30% (diamantes verdes).

Los resultados muestran que, para un 100% de HR, el  $\nu_s \text{PO}_2^-$  disminuye hasta una temperatura cercana a la de transición de fase de los lípidos, lo que es indicativo de un aumento de la absorción de agua en el grupo PO. Más allá de ese punto, el  $\nu_s \text{PO}_2^-$  aumenta, lo que señala que el proceso de hidratación no está favorecido por la temperatura en el estado líquido cristalino (cuadrados negros).

Por otra parte, si se observa el comportamiento del agua presente en el sistema, resulta evidente que esta refleja en su estructura la transición sufrida por la matriz lipídica. En Figura 8 se observan las componentes de la banda de agua pura y en presencia de DMPC.



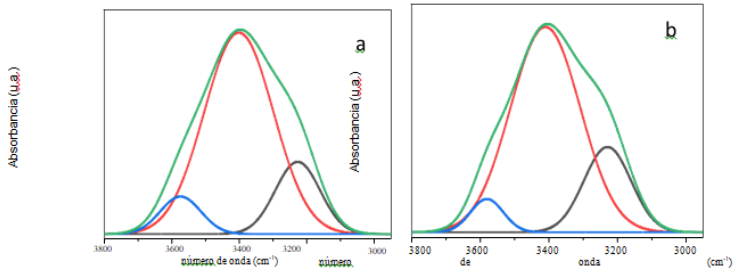


Figura 8. Componentes de las bandas de agua correspondiente al estiramiento -OH entre 3800 a 3000  $\text{cm}^{-1}$  para agua pura (a) y DMPC (b) a 20 °C.

El estiramiento -OH del agua líquida es la principal región utilizada para comprender su organización molecular (4000-3000  $\text{cm}^{-1}$ ). La fuerza del enlace de hidrógeno depende de la naturaleza cooperativa / anti-cooperativa de los enlaces puente hidrógeno circundantes, con los enlaces de hidrógeno más fuertes que dan las frecuencias vibratorias más bajas. Diferentes fosfolípidos asocian el agua en modos particulares de acuerdo con sus estructuras. Por lo tanto, podemos usar el agua como un espejo del estado de la membrana en este tipo de sistemas biológicos.

A 20 °C, los espectros correspondientes al agua pura (Figura 8a) muestran tres especies bien definidas centradas en 3230  $\text{cm}^{-1}$ ; 3400  $\text{cm}^{-1}$  y  $3580 \pm 5 \text{ cm}^{-1}$ , relacionados con el número de enlaces H concertados por cada molécula de agua. La población a la frecuencia más alta es compatible con el monómero de agua a lo largo de las cadenas acílicas. El centrado que ocurre alrededor de 3400  $\text{cm}^{-1}$  correspondería a moléculas de agua coordinadas con menos de cuatro enlaces H (probablemente alrededor de los grupos de colina). Finalmente, la población con menor frecuencia puede asignarse a moléculas de agua fuertemente unidas. Por lo tanto,

las especies de agua se pueden clasificar tentativamente en moléculas de agua no unidas (nHB), moléculas de agua débilmente unidas (iHB) y moléculas de agua fuertemente unidas (sHB) considerando el número de enlaces de H que pueden concertar con sus vecinas.

El análisis de la banda correspondiente al estiramiento vibracional simétrico de los grupos metilenos ( $-\text{CH}_2$ ) de las cadenas acílicas y las bandas de agua por debajo y por encima de la transición de fase de los lípidos da un fuerte apoyo a la formación de los bolsillos de agua en la matriz lipídica (Alarcón et al., 2016). La formación de estas regiones determina la presencia de poblaciones de diferentes especies de agua, caracterizada por su grado de coordinación de enlace hidrógeno en lípidos en estado líquido cristalino, ya sean saturados o insaturados (Disalvo et al., 2013)

La consideración del agua como un componente estructural de las membranas biológicas, específicamente sus propiedades superficiales y de fase, es relevante para definir los pasos en los procesos de hidratación-deshidratación. Esto implica la interdependencia del grado de hidratación y la dinámica de distintos grupos químicos de los componentes de membrana durante el estrés osmótico e hídrico y la interacción de los efectores biológicos con la membrana.

## 2.- Determinación de diferentes tipos de agua por espectroscopía de fluorescencia. Influencia del colesterol

*Dr. Pérez, Hugo A.*

En 1979, Gregorio Weber sintetizó varios derivados del naftaleno sensibles a la polaridad, diseñados para estudiar el estado físico de los lípidos en sistemas de membranas modelo (L A Bagatolli, 2012; Lakowicz, 2006). Entre ellos, el 6-decanoil-2-(N, N-dimetilamino) naftaleno (Laurdan) (Figura 9a) se ubica en la región interfacial hidrofóbica/hidrofílica cerca del grupo carbonilo del fosfolípido, lo que la convierte en una de las sondas de membrana más utilizadas debido a su alta sensibilidad al estado de fase de las membranas (Bagatolli, 2015; Golfetto et al., 2013; Parasassi et al., 1993; Pérez et al., 2019; Pérez et al., 2020).

La fluorescencia del Laurdan depende de la polaridad del entorno. El cambio del dipolo del fluoróforo al excitarse promueve una organización del solvente alrededor del mismo, en este caso agua (Bagatolli et al., 1999). La reorientación de los dipolos del agua alrededor del dipolo en estado excitado de Laurdan (Figura 9b) proporciona información sobre la estructura del agua. La energía requerida para esta reorientación da como resultado un desplazamiento hacia el rojo del espectro de emisión de fluorescencia.

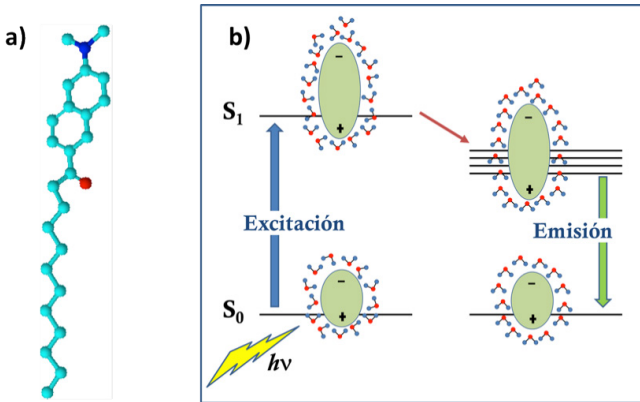


Figura 9. a) Estructura molecular de Laurdan. b) Representación del proceso de relajación dipolar de Laurdan con las moléculas de solvente.

Como se explicó en la sección anterior, las membranas presentan una transición de fase gel a líquido cristalino a una dada temperatura según el fosfolípido que la compone. En esta transición se observa un desplazamiento desde 440 nm hacia el rojo del espectro de emisión de la sonda cerca de 480 nm (Parasassi et al., 1993; Pérez et al., 2021; Pérez et al., 2019; Pérez et al., 2020) (Figura 10a). En base a estos desplazamientos se define un parámetro radiométrico denominado Polarización Generalizada (GP), ecuación 1.

$$GP = \frac{I_{440} - I_{480}}{I_{440} + I_{480}} \quad (1)$$

donde  $I_{440}$  e  $I_{480}$  son las intensidades del máximo de emisión de Laurdan en fase gel y líquido cristalino, respectivamente. La Figura 10b muestra el cambio de GP en función de la temperatura para DPPC.

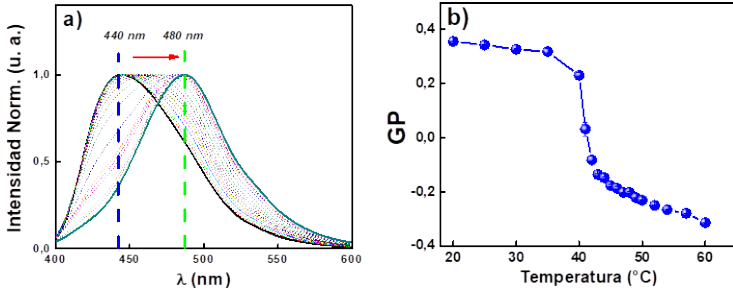


Figura 10. a) Espectros de emisión de Laurdan en vesículas de DPPC en función de la temperatura, desde 11 °C (línea negra) hasta 40 °C (línea cian oscuro). b) Transición de fase de DPPC determinado por la variación de GP con la temperatura.

Resultados recientes mostraron que la penetración del agua es responsable de la relajación dipolar observada por Laurdan en la fase líquida cristalina de bicapas de DPPC. El aumento del porcentaje de colesterol (Col) desplaza el espectro de emisión de Laurdan hacia menores longitudes de onda, lo que se interpretó como consecuencia de una disminución de la polaridad debido al aumento de la rigidez en la membrana por Col. Sin embargo, un desplazamiento similar se observó cuando disminuye el porcentaje de agua en octanol, solvente con propiedades similares a una membrana lipídica en la cual no hay efectos de empaquetamiento (Figura 11). De esta forma, se concluye que los cambios de fluorescencia del Laurdan se deben a la relajación del entorno de agua (Pérez *et al.*, 2019).

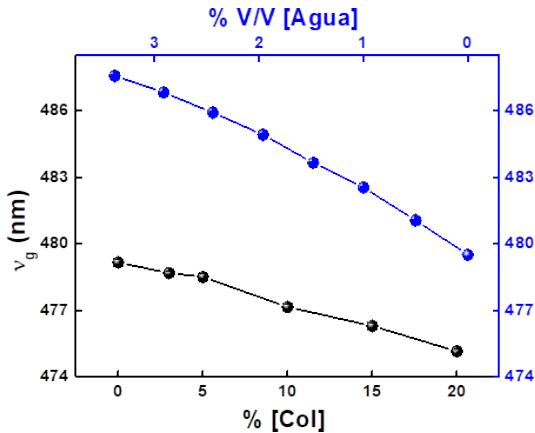


Figura 11. Centro de masa de emisión de Laurdan en función del porcentaje de Col en vesículas de DPPC en fase líquido cristalino (círculos negros) y en función del porcentaje de agua en octanol (círculos azules). Figura tomada de la referencia (Pérez *et al.*, 2019).

En una membrana lipídica, el agua está organizada en sitios de hidratación como los residuos del grupo fosfato (PO) y grupo carbonilo (CO) de los fosfolípidos y entre las cadenas hidrocarbonadas tal como se esquematiza en la Figura 1.

En particular, los grupos carbonilo están ubicados en un plano que corre a lo largo del grupo glicerol y parecen tener una influencia especial en las propiedades interfaciales, ya que su afinidad por el agua puede modificarse por la curvatura, el estado de fase y otras características topológicas (Frías y Disalvo, 2009). Por lo tanto, su presencia puede modular la hidratación relativa de los grupos fosfato y de las cadenas acílicas.

Utilizando las propiedades de fluorescencia del Laurdan arriba descritas, se compararon los valores de GP en vesículas formadas por éster lípidos (DMPC) y por éter lípidos (14:0 diéter PC).

Los resultados demostraron que los valores de GP para 14:0 diéter PC son menores que en el éster PC en todo el rango de

temperatura (Figura 12), lo que indica que la relajación dipolar del entorno que rodea la sonda es mayor en el éter lípido. En otras palabras, existen dipolos de agua con menor energía de interacción entre ellos y con la membrana.

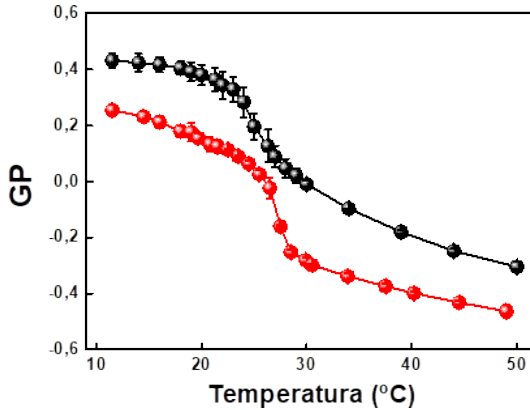


Figura 12. Valores de GP de Laurdan en vesículas de éster-lípido (DMPC) (círculos negros) y 14:0 diéter PC (círculos rojos) en función de la temperatura.

El análisis de las propiedades del agua en la interfase lipídica puede realizarse mediante el método de deconvolución de los espectros de emisión de Laurdan (Bacalum et al., 2013; Zorila et al., 2016). Este consiste en desdoblar el espectro de emisión en dos componentes: una banda centrada en 445 nm y otra banda centrada en 480 nm, denominadas poblaciones no relajadas y relajadas, respectivamente. Para vesículas de DMPC en fase gel, las poblaciones no relajadas presentan mayor contribución en la emisión del Laurdan que las poblaciones relajadas. Contrariamente, en fase líquido cristalino, las poblaciones relajadas tienen mayor contribución en comparación a las poblaciones no relajadas. Para vesículas formadas por éter PC, las contribuciones de las poblaciones relajadas son mayores a las

de su análogo éster PC independientemente del estado de fase en el que se encuentren (Figura 13).

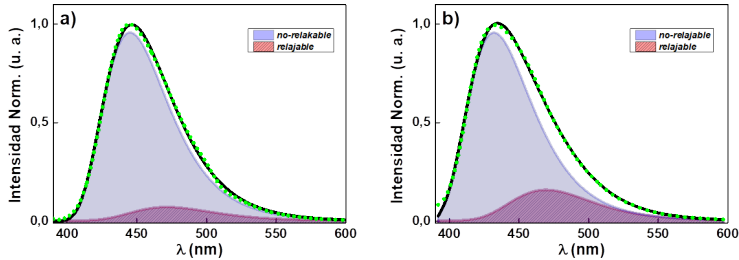


Figura 13. Deconvolución del espectro de emisión de Laurdan en vesículas en fase gel. a) DMPC y b) 14:0 dieter PC.

Los resultados se pueden interpretar postulando que las moléculas de agua en vesículas de DMPC podrían unirse a los grupos PO y CO formando un puente de agua (Ohto et al., 2015; Pérez et al., 2020). Dicho puente estaría restringiendo la movilidad de las moléculas de agua en la interfase lipídica. En ausencia de CO, las moléculas de agua tienen menos restricciones para rotar ya que estarían unidas solo al grupo fosfato, con el consiguiente aumento de la población relajable (Pérez et al., 2020)(Figura 14).



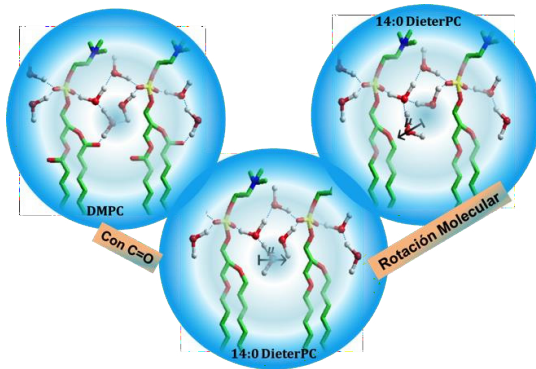


Figura 14. Formación de un puente de agua intramolecular entre los grupos PO y CO en DMPC. En 14:0 diéter PC, la molécula de agua unida al PO puede rotar alrededor del enlace H reorientando al dipolo de agua con respecto al plano de la membrana. Figura tomada de la referencia (Pérez et al., 2020).

La presencia de Col tanto en vesículas de DMPC como de 14:0 diéter PC cambia la distribución de moléculas de agua y, en consecuencia, genera un aumento en la población no relajable. Estas moléculas de agua interactúan de manera diferente con el Col si el grupo CO está presente en el lípido. En DMPC el puente de agua entre el grupo PO y CO forma un puente hidrógeno con el grupo oxidrilo (OH<sup>-</sup>) del Col (Figura 15a). En cambio, en vesículas de 14:0 diéter PC, se forma un puente de agua entre el grupo PO y el OH<sup>-</sup> del Col tal como se observa en la Figura 15b (Pérez et al., 2021).

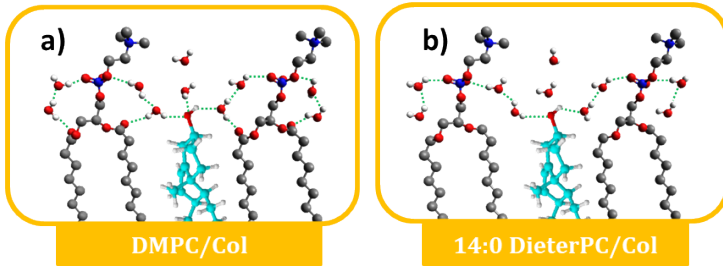


Figura 15. Representación de la formación del puente hidrogeno: a) entre el puente de agua PO y CO del DMPC y el grupo OH del Col y b) formación del puente de agua entre el PO del 14:0 diéter PC y el OH- del Col.

## Influencia de factores físicos y químicos sobre la hidratación de membranas. Estudios en monocapas lipídicas

*Lic. Cejas, Jimena del Pilar.*

Si consideramos la zona de interfase de la Figura 1 como un sistema abierto, el agua es un componente intercambiable cuando una monocapa lipídica es sometida a estrés mecánico por cambios en la presión lateral o cuando las bicapas están bajo estrés osmótico. Las fluctuaciones y propiedades dinámicas que tienen lugar en la membrana lipídica sometidas a estas fuerzas afectan directamente los mecanismos de inserción de bioefectores de diferente naturaleza (Frías y Disalvo, 2020). En este sentido, es interesante analizar comparativamente, las propiedades de hidratación de las membranas compuestas por diferentes estructuras químicas de lípidos, a partir de las propiedades de compresibilidad de la interfase lipídica.

Teniendo en cuenta las propiedades de hidratación descritas en los puntos anteriores es de interés analizar sus consecuencias sobre las propiedades mecánicas y eléctricas en monocapas y bicapas. Un parámetro importante para obtener información de la monocapa es la determinación de la presión superficial, que se obtiene experimentalmente como:

$$\Pi = \gamma_0 - \gamma \quad (2)$$

donde  $\gamma_0$  es la tensión superficial del agua pura y  $\gamma$  corresponde a la tensión superficial en

*presencia del lípido adsorbido.*

$$\gamma = (\partial G / \partial A)_T$$

La tensión superficial está dada por la primera derivada de la energía libre (G) con respecto al área superficial (A) a temperatura constante, como se muestra a continuación:

Es decir, la presión superficial es una medida del cambio en la energía libre de las moléculas de agua superficial antes y después de la adsorción de lípidos. Esta reducción neta en la energía libre de las moléculas de agua superficial se debe a la interacción de las moléculas de agua con los grupos polares de las moléculas de lípidos.

Uno de los indicadores más importantes de las propiedades de una monocapa se obtiene midiendo la presión superficial ( $\Pi$ ) en función del área molecular (A) a temperatura constante, lo que se conoce como isotermas de compresión. A través de barreras móviles, se comprimen a una velocidad constante los lípidos esparcidos en la interfase aire-agua (Figura 16a). De este modo, a una dada área crítica, se forma una monocapa que es sensible a la compresión lateral, donde las moléculas quedan empaquetadas en distintos estados de fase, dependiendo de la presión a la que son sometidas a temperatura constante.

En la Figura 16b se muestra una isoterma de compresión de una monocapa de Langmuir de DPPC, en el cual las coexistencias de fase se ponen de manifiesto observando los cambios en la pendiente de las isotermas de compresión.

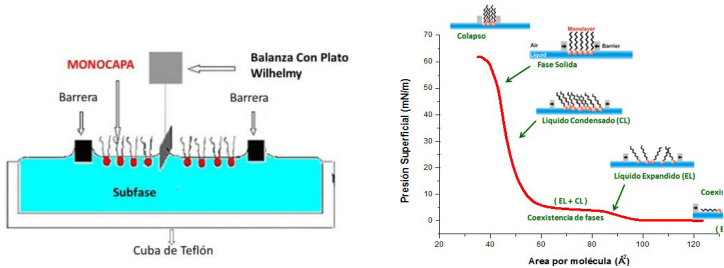


Figura 16. Compresión de una monocapa de lípidos extendidos en una superficie agua-aire. a) Balanza de Langmuir con plato de Wilhelmy para medir presión superficial en función del área. b) Isotherma de compresión de una monocapa de DPPC. Se incluye un esquema de la estructura de los lípidos en cada una de las fases indicadas en la figura.

De acuerdo con la terminología de las diferentes fases de la monocapa, introducida por Harkins *et al.* (1940) y Dervichian (1939), a medida que disminuye el área por molécula, con un consecuente aumento de presión, la monocapa pasa a un estado conocido como fase líquido expandida (LE) y posteriormente a mayor presión a una fase líquido condensada (LC) o un estado sólido. Idealmente, en la coexistencia de fase LE-LC se observa una meseta. A medida que la presión va en aumento, la fase líquida condensada es menos compresible. La fase sólida es muy poco compresible y, si continúa aumentando la presión, se llega al colapso de la monocapa, punto en el cual la presión no puede seguir aumentando sin que los fosfolípidos escapen a la fase acuosa (Córsico *et al.*, 2013).

(3)

$$C^{-1} = -A \left( \frac{\partial \Pi}{\partial A} \right)_T$$

Las propiedades de compresibilidad de las monocapas, sus correspondientes estados de fase y sus transiciones se pueden

determinar mediante los valores y variaciones del módulo de compresibilidad ( $C^{-1}$ ), dado por la siguiente ecuación (Vollhardt y Fainerman, 2006):

Por lo tanto, las propiedades de compresibilidad de monocapas para cada lípido se pueden determinar a partir de la derivada de las isothermas  $\Pi$  vs  $A$ .

Cuanto mayor es el valor de  $C^{-1}$ , menor tendencia a comprimirse (ej. fase LC), y viceversa, bajos valores de  $C^{-1}$  indican que la monocapa es más laxa (ej. fase LE).

En la Figura 17A se muestran las curvas  $C^{-1}$  vs  $A$  para las monocapas de DMPC y 14:0 diéter PC, que difieren en su estructura química por la presencia o ausencia de los grupos carbonilo (CO), respectivamente. La Figura 17B refleja el efecto del incremento de colesterol, en la compresibilidad de las monocapas de DMPC.

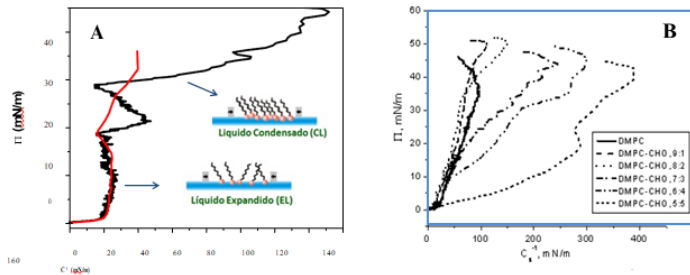


Figura 17. A) Presión superficial vs módulo de compresibilidad para DMPC (línea negra) y 14:0 diéter PC (línea roja) a 15°C. Adaptada de la referencia (Pérez et al., 2020). B) Presión superficial vs  $C^{-1}$  para DMPC a diferentes relaciones de Colesterol a 25°C. Adaptada de la referencia (Mocanu et al., 2010).

La ausencia de grupos carbonilo afecta significativamente el perfil de compresibilidad (Fig. 17A). La ausencia del pico alrededor de 25  $\text{mN}/\text{m}$  para 14:0 diéter PC refleja que la compresibilidad está afectada por la organización del agua relacionada

a la formación de enlaces H con los grupos PO y CO, los que le confieren al agua diferentes propiedades de relajación (ver Figura 13 de la sección anterior).

Como se mencionó en la sección anterior, la presencia de colesterol afecta el contenido de agua en la membrana (Pérez *et al.*, 2020; Pérez *et al.*, 2021). En la Figura 17B, el incremento de C-1 en presencia de colesterol en las monocapas de DMPC evidencia el efecto de condensación como resultado del ordenamiento de la cadena y la estabilización de las estructuras mixtas. Los enlaces de hidrógeno entre las moléculas de colesterol y DMPC mediadas por agua (Pérez *et al.*, 2021) da como resultado una mayor densidad de empaquetamiento (Mocanu *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista termodinámico, la presión superficial de la monocapa ( $\pi$ ) puede expresarse como una función de la actividad de agua superficial ( $a_w$ ) por la siguiente ecuación tomando a la monocapa como un gas ideal:

$$\Pi = -\Gamma_w RT \ln a_w \quad (4)$$

propuesta por Defay-Prigogine (Defay y Prigogine, 1956; Damodaran, 1998; Disalvo *et al.*, 2013), donde  $\Gamma_w$  es el número de moles de moléculas de agua por unidad de área de la interfase. La dependencia de  $\pi$  con  $a_w$  fue modificada de acuerdo con el formalismo de Termodinámica de Procesos Irreversibles (TIP) teniendo en cuenta la interacción lípido agua y agua lípido (Pinto y Disalvo, 2019).

La disminución en la actividad del agua puede ser causada por la absorción de bioefectores a la monocapa que desplazan a las moléculas de agua o interaccionan con ellas (Rao y Damodaran, 2000). Cuando efectores biológicos (antioxidantes, péptidos, etc.) se inyectan en la subfase de la monocapa e interactúan con esta, se genera un aumento (perturbación) en la presión superficial  $\Delta\Pi$  (Figura 18).

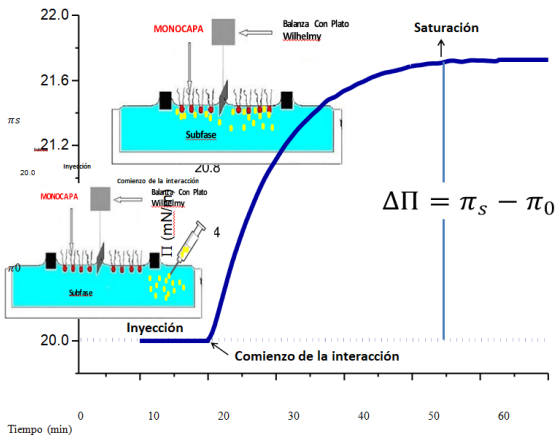


Figura 18. Esquema de una monocapa lipídica y la variación de presión superficial ( $\Delta\Pi$ ) luego del agregado de un bioefector en la subfase acuosa.

Los cambios de presión superficial en función de la concentración del bioefector en la subfase, en condiciones de equilibrio, se pueden representar por una isoterma de adsorción tipo Langmuir:

$$\theta = \frac{\Delta\Pi}{\Delta\Pi_{max}} = \frac{[E]^r}{K_d + [E]^r} \quad (5)$$

donde  $\theta$  es el grado de cobertura,  $\Delta\Pi_{max}$  es el valor de saturación de la presión superficial,  $[E]$  es la concentración del bioefector en la subfase,  $K_d$  es la constante de disociación y  $r$  es el parámetro de heterogeneidad que describe el ancho de la función de distribución de energía, que es 1 para un comportamiento de Langmuir. Los cambios de presión superficial para distintos agregados de bioefector (Figura 19A) pueden ser ajustados según la ecuación 5 mediante la cual se puede cuantificar la afinidad por la membrana ( $K_a = K_d^{-1}$ ) y el valor de  $r$ .



La región de la interfase, junto con las colas hidrofóbicas, es una barrera cinética para la permeabilidad de los solutos polares y la absorción de moléculas. La cinética de interacción de una determinada molécula con una monocapa lipídica permiten dilucidar las fuerzas que priman en la interacción.

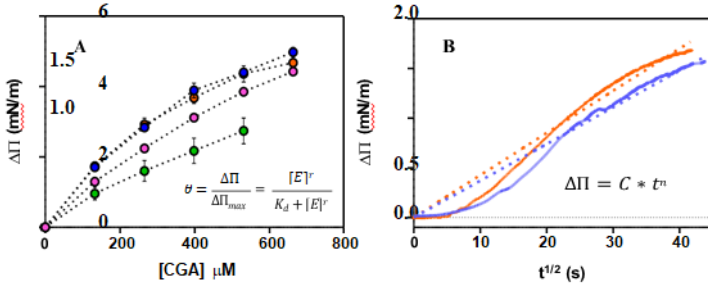


Figura 19. A) Cambios en la presión superficial en función de cantidades crecientes de ácido clorogénico (CGA) en la subfase de monocapas de DMPC (símbolos naranjas); 14:0 diéter PC (símbolos azules), DPPC (símbolos verdes) y 16:0 diéter PC (símbolos magenta). B) Cambios en la presión superficial en función del tiempo expresado como tiempo<sup>1/2</sup>, después de la adición de 140  $\mu M$  de CGA a la subfase de monocapas de DMPC (línea naranja), 14:0 diéter PC (línea azul). Gráficas tomadas de Cejas *et al.*, 2020.

Cuando los procesos de adsorción de moléculas a una interfase son controlados por la difusión, la presión superficial puede estar relacionada con el coeficiente de difusión  $D$ , que es una función del tiempo expresada por la segunda solución de la ley de Fick según:

$$\Pi = \frac{2RTC_b}{\pi^{1/2}} D^{1/2} t^{1/2} \quad (6)$$

donde la concentración *bulk* del soluto ( $C_b$ ) permanece efectivamente constante durante el proceso.

Por lo tanto, se pueden caracterizar los procesos de velocidad mediante el coeficiente de relajación  $n$  según la siguiente

ecuación empírica (Crank, 1979):

$$\Delta\Pi = C * t^n \quad (7)$$

donde  $C = 2RTC_b D^{1/2} \bar{c}^{-1/2}$ . Las constantes  $C$  y  $n$  son determinadas a partir de análisis de regresión ajustando las curvas  $\Delta\Pi$  vs tiempo a la Ecuación 7.

Si  $n = 0.5$  y se grafica  $\Delta\Pi$  vs tiempo<sup>1/2</sup>, se obtiene un comportamiento lineal que corresponde a un proceso fickeano (línea punteada en la figura 19B), es decir, el coeficiente es constante durante el proceso.

Sin embargo, las curvas experimentales para la interacción de CGA en monocapas de éster o éter lípidos dan valores de  $n \neq 0.5$  (líneas continuas en la Figura 19B). Este tipo de desviaciones del comportamiento fickeano se consideran asociadas a los cambios del coeficiente de difusión a lo largo del proceso, que pueden relacionarse con una modificación en la matriz lipídica durante el proceso de adsorción. Este comportamiento no fickeano de CGA puede adjudicarse a las interacciones específicas de CGA con los grupos CO y/o PO de la matriz lipídica de éster o éter lípidos (Cejás *et al.*, 2020).

Para demostrar una dependencia del coeficiente  $n$  con el estado de la membrana, se analiza el efecto de la presión superficial y la relación de colesterol.

En la Figura 20A, se observa que el patrón cinético evoluciona de un proceso no fickeano ( $n > 0.5$ ) a un proceso fickeano ( $n = 0.5$ ) al pasar de presiones bajas a altas. En la Figura 20B es evidente que el aumento de colesterol modifica el comportamiento a un proceso fickeano.

Teniendo en cuenta que la presión superficial sobre la monocapa fija la actividad del agua en la interfase, se puede concluir que el proceso fickeano se manifiesta cuando el agua disminuye en la membrana ya sea por aumento de la presión superficial o por aumento del colesterol. Es decir, la relajación que implica un proceso no fickeano está relacionada con la

presencia de agua y su reorganización.

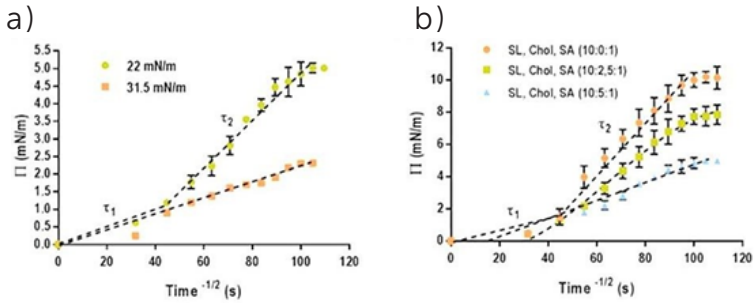


Figura 20. Efecto sobre el patrón de difusión en la interacción de una proteína de superficie con monocapas de PC/SA a diferente: A) Presión superficial 22 mN/m (círculos verdes) y 31.5 mN/m (cuadrados naranjas) y B) diferente relación molar de colesterol: Chol 0 (círculos naranjas); 2.5 Chol (cuadrados verdes); 5 Chol (triángulos azules) (adaptado de Disalvo *et al.*, 2013.)

## Consecuencias de la hidratación sobre las propiedades superficiales de membranas lipídicas

*Lic. Soria, Noelia A., Dra Lina Mohtar*

El modelo basado en la solución bidimensional de cabezas polares con sus capas de hidratación (Figura 1) implica la organización del agua y de los grupos polares en la denominada interfase dando lugar a una asimetría de cargas y polarización de dipolos. Esta reorganización produce una caída del potencial eléctrico entre el plano de la interfaz agua-lípido hasta el seno de la solución acuosa. Los potenciales eléctricos asociados a esta interfase de las membranas son: ( $\psi_s$ ) potencial superficial y ( $\psi_D$ ) potencial dipolar. Estos en cada lado de la bicapa contribuyen al denominado ( $\Delta\psi$ ) potencial transmembrana (Clarke, 2001).

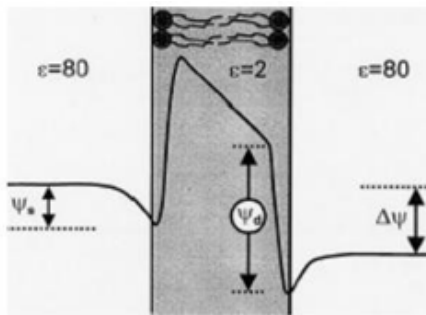


Figura 21. Perfil de potenciales de una bicapa conteniendo 20 mol % de lípidos negativos. ( $\psi_s$ ) potencial superficial, ( $\psi_D$ ) potencial dipolar y ( $\Delta\psi$ ) potencial transmembrana (adaptado de Clarke, 2001).

El potencial superficial tiene consecuencias muy importantes en la estabilidad y función de las biomembranas. El componente de cargas netas de los fosfolípidos constituye un potencial electrostático que afecta la interacción de proteínas, la

conductancia de canales iónicos, la interacción entre membranas, la unión de drogas y la actividad de ciertas enzimas entre otros procesos relacionados (McLaughlin *et al.*, 1989).

Si la bicapa lipídica se considera como una delgada película de material no conductor, puede describirse como un simple capacitor cuya capacitancia está dada por la ecuación:

$$C = \epsilon \epsilon^0 A/d \quad (8)$$

donde (d) es la distancia que separa los dos planos interfaz agua-lípido ( $d = 50\text{Å}$ ) que encierra la región hidrocarbonada cuya constante dieléctrica ( $\epsilon$ ) igual a 2; ( $\epsilon_0$ ) es la permitividad del espacio libre y A es el área.

Para biomembranas, los valores usuales de capacitancia oscilan alrededor de  $1\mu\text{F}/\text{cm}^2$ . Este valor no se ajusta al de un capacitor puro. Esto es así porque a la capacitancia y espesor total contribuye también la zona definida como interfase de naturaleza polar (Figuras 1 y 21). Por lo tanto, es importante describir la generación de los potenciales superficial y dipolar en el contexto del modelo de solución bidimensional propuesto.

#### Potencial Dipolar ( $\psi_D$ )

En general, la permeabilidad de los aniones hidrofóbicos en membranas lipídicas es de varios órdenes de magnitud mayor que los cationes hidrofóbicos. Esto se explica por la presencia de un potencial de carga imagen positivo en el interior de la membrana con respecto al medio acuoso denominado potencial dipolar ( $\psi_D$ ). Estructuralmente, este se originaría por dipolos orientados en la interfaz membrana-agua, por las cabezas polares de los fosfolípidos, por las uniones éster de los ácidos grasos con el glicerol y por las moléculas de agua unidas a ellos por uniones hidrógeno (Luzardo *et al.*, 2000; Clarke, 2001; Díaz *et al.*, 1999).

Las cabezas polares aportan contribuciones negativas y el glicero-acil-éster, positivas. La contribución del agua de hidra-

tación es positiva y es la principal responsable del signo positivo determinado experimentalmente en bicapas totalmente hidratadas (Zheng y Van der Kooij, 1992).

El potencial dipolar se ha asociado a las fuerzas de hidratación, las cuales representan una fuerza repulsiva asociada al volumen excluido de moléculas de agua alrededor de los lípidos. A este potencial se le atribuyen las fuerzas que se oponen al contacto entre membranas durante los procesos de adhesión, adsorción y agregación (Díaz, 1999; Simon, 1989). Por esta razón, el potencial dipolar es una magnitud muy importante cuando se requiere estudiar la adsorción o penetración de bioefectores a una membrana.

#### Determinación del Potencial Dipolar ( $\psi_D$ )

El potencial dipolar se puede determinar en monocapas lipídicas extendidas sobre una interfase aire-solución (Luzardo et al., 1998). El sistema de medida consiste en un circuito de alta impedancia eléctrica conectando un electrodo de referencia inmerso en la subfase acuosa con un electrodo vibratorio o ionizante según sea el caso sobre la monocapa.

El potencial dipolar se calcula mediante la ecuación:

$$\psi_D = \Delta V = V_{\text{lípido}} - V_{\text{solución}} \quad (9)$$

en donde  $V_{\text{lípido}}$  es el potencial obtenido para la monocapa saturada con lípidos y  $V_{\text{solución}}$  el potencial medido en la interfaz aire-solución sin lípidos. En estas condiciones, una monocapa de PC presenta un potencial dipolar del orden de los 400 mV. En contraste, para bicapas del mismo lípido los valores obtenidos son del orden de los 227 mV, positivo en el interior. La diferencia entre el potencial dipolar en bicapas o monocapas se adjudica al uso del aire como punto de referencia para las mediciones en monocapas (Clarke, 2001).

### Modificaciones de potencial dipolar ( $\psi_D$ ) por grupos constitutivos y agua polarizada

Las modificaciones en la hidratación de los grupos químicos que componen la zona hidrofílica de los fosfolípidos afectan el potencial dipolar. Si se compara el potencial dipolar de monocapas de DPPC con el de dihexadecilfosfatidilcolina (16:0 diéter PC) que carece de grupos carbonilo, se observa un descenso de 118 mV, desde 227 mV para la DPPC a 109 mV para la 16:0 diéter PC. Esto pone en evidencia la contribución de los grupos carbonilo al  $\psi_D$ .

Asimismo, la primera capa de agua polarizada por los grupos carbonilo y fosfato hace una importante contribución al potencial dipolar (Díaz *et al.*, 1999; 2001). Los grupos carbonilo y fosfato en la cabeza polar de los lípidos pueden formar enlaces de hidrógeno a través de sus pares de electrones libres. El agua unida a ellos orienta sus dipolos contribuyendo así al potencial dipolar de la interfase. El agua polarizada puede disminuir en presencia de compuestos polihidroxilados como la trehalosa, que compite por el agua en los sitios de hidratación (Figura 22).

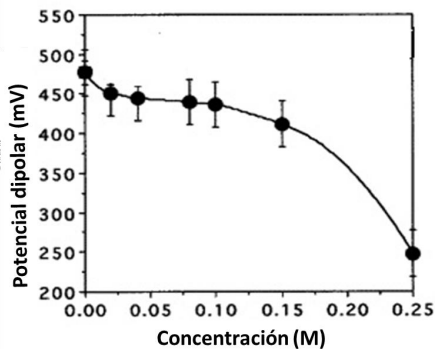


Figura 22. Efecto de la trehalosa (●) sobre el potencial dipolar de las monocapas de DMPC esparcidas en una interfaz aire / solución acuosa a 20 °C. (Figura adaptada de Luzardo, 2000)

*Determinación del potencial superficial (potencial zeta)*

El potencial superficial ( $\psi_s$ ) se define como la diferencia de potencial entre la superficie de la membrana y el seno de la solución, y se debe a las cargas fijas presentes en la interfase membrana-agua, por ejemplo, grupos fosfato y aminos. Dichas cargas netas afectan la distribución de iones en la interfase y dan como resultado la formación de una doble capa eléctrica (DCE). Esta distribución de cargas determina el potencial superficial electrostático o de carga (Langner y Kubica, 1999). La DCE está compuesta por al menos dos regiones: una llamada capa Stern o interna de Helmholtz determinada por la adsorción específica de aniones polarizables a la superficie y otra más externa denominada difusa cuyo espesor se define por la longitud Debye y varía con la temperatura.

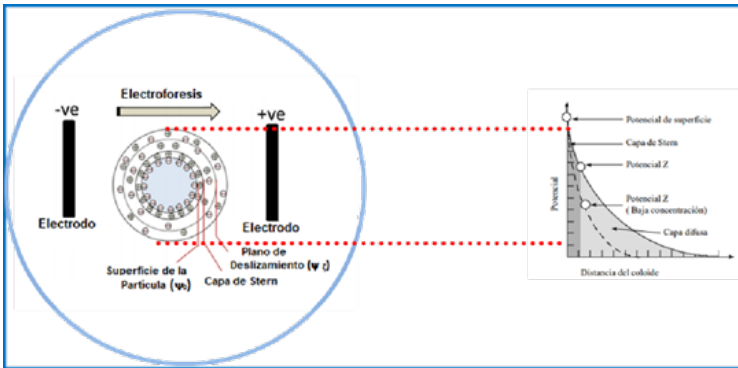


Figura 23. Doble capa eléctrica en una partícula cargada negativamente. A) determinación de la movilidad por electroforesis. B) Caída de potencias entre la superficie de la partícula y la solución (Tomado de Bhattacharjee, 2016).

El potencial eléctrico disminuye con la distancia desde la super-



ficie de la partícula según Ecuación 10:

$$\Psi = \Psi_d e^{-\kappa x} \quad (10)$$

donde  $\psi$  = potencial de superficie a una distancia  $x$  de la capa Stern,  $\psi_d$  = potencial de superficie en la capa Stern,  $\kappa$  = parámetro de Debye-Hückel,  $x$  = distancia. Cuando el plano de deslizamiento está muy cerca de la capa Stern, el  $\psi_d \approx \zeta$  (potencial zeta) y, por lo tanto, la Ecuación (10) queda como la Ecuación (11):

$$\zeta = \zeta_d e^{-\kappa x} \quad (11)$$

El parámetro de Debye-Hückel ( $\kappa$ ) depende de la fuerza iónica. Por lo tanto, la adición de electrolitos comprime la doble capa y disminuye el potencial de carga.

Cuando se aplica un campo eléctrico continuo, la partícula suspendida se desplaza hacia el electrodo de carga opuesta en relación a su potencial de carga (Figura 23). La relación entre la velocidad de la partícula al campo eléctrico aplicado se denomina movilidad electroforética.

El potencial Zeta ( $\zeta$ ) se calcula a través de la ecuación de Smolowchovski a partir de los datos de movilidad electroforética ( $\mu$ ) tal como se muestra en la ecuación 12:

$$\zeta = \frac{\eta \mu}{\epsilon \epsilon_0} \quad (12)$$

$\epsilon$  corresponde a la permitividad dieléctrica de la solución acuosa,  $\epsilon_0$  la permitividad del

espacio libre y  $\eta$  la viscosidad de la suspensión, respectivamente (Morini *et al.*, 2015).

Su uso está restringido a suspensiones de partículas de diámetro  $\geq 1 \mu\text{m}$  en soluciones acuosas de concentración de electrolito relativamente alta ( $\geq 10^{-2} \text{M}$ ).

El origen del potencial Zeta en membranas lipídicas puede

atribuirse a la orientación de las cabezas polares con respecto al plano de la membrana a una dada temperatura y fuerza iónica tal como se ve en la Figura 23.

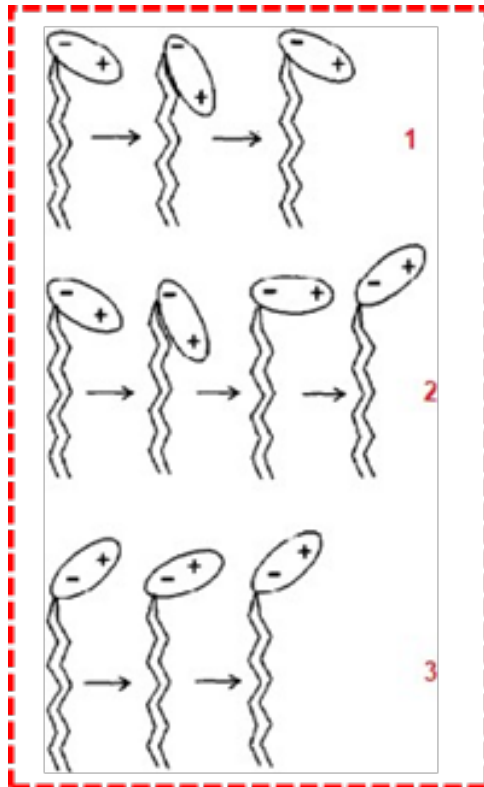


Figura 24. Cambio de dirección del grupo polar del lípido dependiendo de la temperatura en condiciones de baja (1), intermedia (2) y alta (3) fuerza iónica (Tomado de Makino et al., 1991).

Tatulian (1991) adjudica el signo del potencial zeta a la adsorción específica de aniones en la capa de Stern de DMPC según la secuencia  $\text{ClO}_4^- \rightarrow \text{I}^- \rightarrow \text{SCN}^- \rightarrow \text{Br}^- \rightarrow \text{NO}_3^- \rightarrow \text{Cl}^- = \text{SO}_4^{2-}$  (Figura 24).

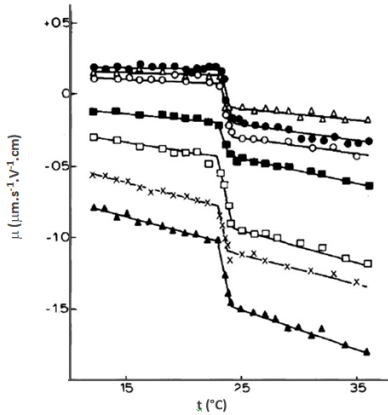


Figura 25. Dependencia de la movilidad electroforética de liposomas DMPC con temperatura en soluciones 0.01 M de K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Δ), KCl (●), KNO<sub>3</sub> (○), KBr (▪), KSCN (◻), KI (×) y KClO<sub>4</sub> (▲) a pH 7,4 (Tomado de Tatulian, 1983).

El signo del potencial de superficie en membranas lipídicas no puede predecirse directamente a partir de la composición del grupo de cabeza, ya que varía con el estado de fase y el medio iónico tanto en vesículas multilaminares (MLV) como en las vesículas unilaminares (LUV) según lo reportado por Morini *et al.* (2015).

*Cálculo de grado de cubrimiento y afinidad mediante potencial zeta*

El grado de cubrimiento ( $\theta$ ) de la superficie externa de liposomas en suspensión se puede determinar a partir de las medidas del potencial zeta, de acuerdo con la ecuación 13:

$$\theta = \frac{(KC)^n}{1+(KC)^n} \tag{13}$$

donde  $K$  es la constante de afinidad y  $n$  es el parámetro de heterogeneidad que describe el ancho de la función de distribución de energía, que es 1 para un comportamiento de Langmuir (Lyklema, 2000).

*Determinación de la adsorción de iones, aminoácidos y péptidos a membranas lipídicas*

La adsorción de  $Ca^{2+}$  a membranas de diferentes composiciones de dipalmitoilfosfatidilcolina (DPPC) y dimiristoilfosfatidiletanolamina (DMPE) mostró cambios relativos en el valor del potencial zeta como se observa en la Figura 26 (Raffo y Martini, 2010).

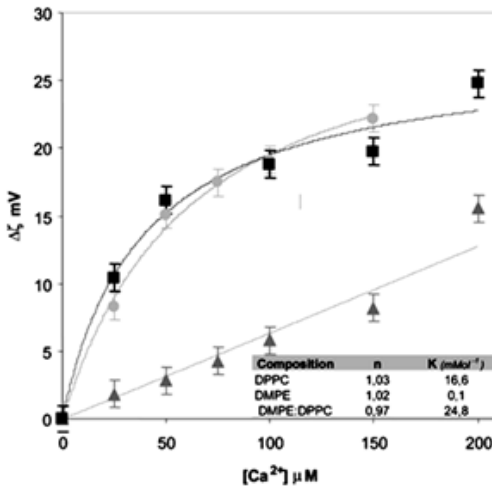


Figura 26. Cambios en potencial zeta de MLV de diferentes composición de lípidos, debido a la presencia de  $Ca^{2+}$ : (●) DPPC; (▲) DMPE y (■) DPPC: DMPE (1:1). Tomado de Raffo y Martini (2010).

El parámetro K (Tabla inserta en la Figura 26) muestra diferencias significativas para las diferentes composiciones de lípidos ensayadas. Sin embargo, el parámetro n en todos los casos tuvo un valor  $\cong 1$ , lo que valida un comportamiento de isoterma de Langmuir para la adsorción de  $\text{Ca}^{2+}$  en los lípidos ensayados.

En la Figura 27 se analiza el comportamiento del potencial zeta en membranas lipídicas de DMPC, DMPE, monometilPE (mmPE) y dimetilPE (dmPE) en presencia de arginina.

Según los valores de K y n reportados en la tabla inserta en la Figura, la unión y la cooperatividad son diferentes en DMPE y con diferente grado de metilación del grupo amino, indicando que la adsorción en PC solo ocurre en estado fluido siguiendo una isoterma tipo Langmuir ( $n = 1$ ), es decir que la estequiometría de adsorción del soluto al sitio de unión es 1:1.

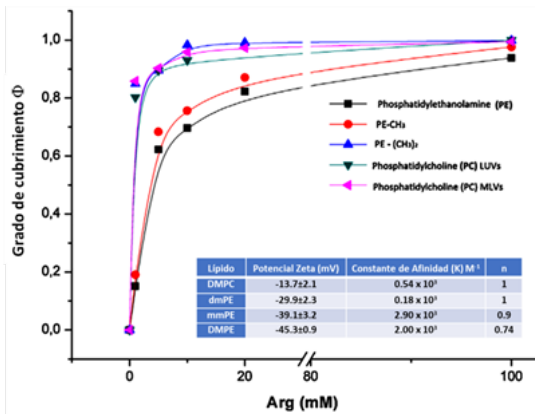


Fig. 27. Isotermas de adsorción para MLV y LUV de lípidos con diferente grado de metilación. La Tabla inserta resume los valores de potencial zeta, constante de afinidad, parámetro de heterogeneidad para la adsorción de arginina en bicapas de lipídicas (Tomado de Disalvo y Bouchet, 2014).

La melitina (ML) es un pequeño péptido catiónico compuesto por 26 residuos de aminoácidos; entre los residuos de aminoácidos que la cons-

tituyen se destacan la arginina y la lisina.

En la Figura 28 se muestra el efecto diferencial significativo de la melitina en comparación con Arg-7 y Lys-5 sobre los valores de Pz. En contraste con Lys-5, la melitina muestra un desplazamiento neto a valor positivo en concentraciones muy bajas (Tissera et al., 2019).

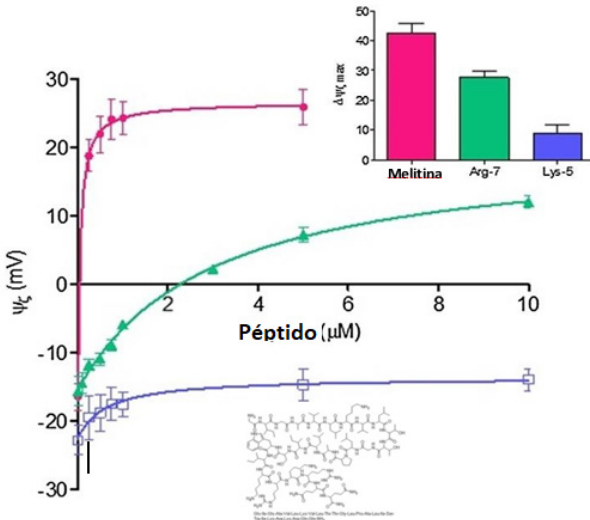


Figura 28. Cambio del potencial zeta de liposomas DMPC en función de la concentración de péptidos: melitina (●), Arg-7 (▲) y Lys-5 (□). Inserto: Efecto máximo de los péptidos sobre el potencial zeta de los liposomas DMPC para los diferentes péptidos (Tomado de Tissera et al. (2019).

Se concluye que la afinidad de unión de la melitina por DMPC es mayor que la observada para Arg-7 y Lys-5.

*caracterización de procesos enzimáticos por medio del potencial zeta ( $\xi$ )*

Las reacciones de hidrólisis enzimática se pueden estudiar por medio de  $\xi$ , por ejemplo, el efecto de la fosfolipasa PLA<sub>2</sub> sobre membranas de fosfatidilcolina. Esta enzima hidroliza el enlace éster sn-2 de los fosfolípidos liberando un ácido graso libre y un lisofosfolípido, y es el ion Ca<sup>2+</sup> un cofactor esencial para la activación (Qinqin Fei *et al.*, 2018). El  $\xi$  cambia con el agregado de este ion hacia valores más positivos en el tiempo, independientemente del lípido con el que se trabaje

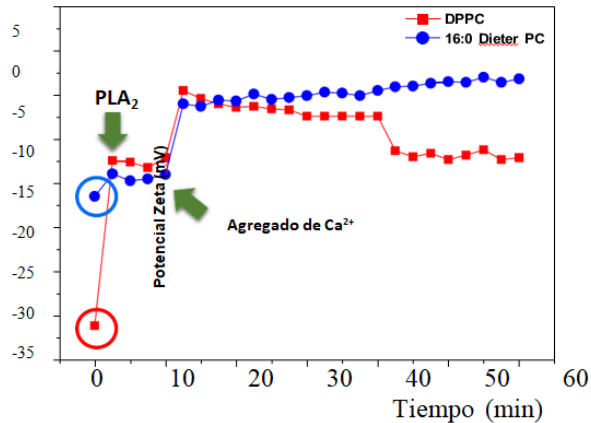


Figura 29.

La Figura 29 muestra que  $\xi$  de DPPC y 16:0 diéter PC en presencia de PLA<sub>2</sub> son diferentes, luego del agregado de Ca<sup>2+</sup>.  $\xi$  de DPPC evoluciona continuamente a valores negativos a diferencia del 16:0 diéter PC que tiende a un valor de potencial cero. A los 40 min, se produce un cambio significativo en  $\xi$  de DPPC hacia valores negativos. Esto puede deberse a una relajación lenta de la estructura de la membrana debido a la

aparición de productos enzimáticos como el ácido palmítico. La ausencia de grupo CO modula el equilibrio de la hidratación entre las cadenas de acilo y los grupos fosfato (Rosa Sebastián *et al.*, 2019) y participa en la formación de defectos según su exposición al medio acuoso, determinando la polaridad de la interfase y la adsorción de  $\text{Ca}^{2+}$  lo que explicaría en cambio del perfil de  $\xi$  (Mohtar *et al.*, 2020)

## 5.- Conclusión y perspectivas

Los estudios sobre las propiedades del agua en membranas lipídicas por medio de diferentes metodologías permiten concluir que:

El agua está organizada en forma diferente alrededor de los diferentes sitios de hidratación, grupos fosfato, carbonilo y  $\text{CH}_2$ , existiendo una correlación entre los mismos modulada por los grupos carbonilo.

Dicha correlación pone de manifiesto el intercambio entre el agua de hidratación y el agua confinada, lo que da lugar a fluctuaciones en la polaridad de la interfase. Las moléculas de agua en vesículas de DMPC podrían unirse a los grupos PO y CO formando un puente de agua que restringe la movilidad de las moléculas de agua. En ausencia de CO, las moléculas de agua estarían unida solo al grupo fosfato, con lo que aumenta así la población polarizable.

El intercambio entre los distintos tipos de agua puede ser modificado por la presión lateral y por el contenido de colesterol tanto en membrana con y sin carbonilos presentes. La ausencia de grupos carbonilo afecta significativamente el perfil de compresibilidad.

El agua como componente estructural de las membranas biológicas determina propiedades superficiales (potencial dipolar) y de fase de las membranas lipídicas.



Existe interdependencia entre el grado de hidratación y la dinámica de distintos grupos químicos de los componentes de membrana durante el estrés osmótico e hídrico y también interacción de los efectores biológicos con la membrana.

Desde el punto de vista termodinámico, la presión superficial de la monocapa ( $\pi$ ) puede expresarse como una función de la actividad de agua superficial ( $a_w$ ). Esta dependencia afecta el proceso de adsorción de bioefectores en el cual la relajación, que implica un proceso no fickeano, está relacionada con la reorganización del agua interfasial. Esta relajación es modulada por aumento de la presión superficial o por aumento del colesterol. Es decir, la ausencia de grupos CO modula el equilibrio de la hidratación entre las cadenas de acilo y los grupos fosfato y participa en la formación de defectos según su exposición al medio acuoso, determinando la polaridad de la interfase y la adsorción de  $\text{Ca}^{2+}$  y la actividad de ciertas enzimas hidrolíticas superficiales.

Estos estudios en sistemas biomiméticos son la base para comprender las respuestas de sistemas complejos como células enteras (bacterias, vegetales, etc.) en procesos metabólicos y bajo estrés hídrico y oxidativo.

## Bibliografía

- Alarcón, L. M., de los Ángeles; Frías, M.; Morini, M. A.; Sierra, Belén M.; Appignanesi, G. A. y Disalvo, Anibal E. (2016). "Water populations in restricted environments of lipid membrane interphases". *European Physical Journal E*. 39(10), pp.
- Barth, A. y Zscherp, C. (2002). "What vibrations tell us about proteins". *Quarterly Reviews of Biophysics*. 35(4), pp. 369-430.
- Bhattacharjee, Sourav (2016). "DLS and zeta potential – What they are and what they are not? Review". *Journal of Controlled Release*. (235), pp. 337–351.
- Binder, H. (2007). "Water near lipid membranes as seen by infrared spectroscopy". *European Biophysics Journal*. (36), pp. 265-279.
- Blume, A.; Hiibner, W. y Messner, G. (1988). "Fourier Transform Infrared Spectroscopy of  $^{13}\text{C}=0$ -labeled Phospholipids Hydrogen Bonding To Carbonyl Groups". *Biochemistry*, 27(21), pp. 8239–8249.
- Cejas; J. P.; Rosa, A.S.; Nazareno, M. A.; Disalvo, E.A. y Frías, M. A. (2020). "Interaction of chlorogenic acid with model lipid membranes and its influence on antiradical activity". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes*. 1863(1), pp. .
- Clarke, R. J. (2001). "The dipole potential of phospholipid membranes and methods for its detection". *Advances in Colloid and Interface Science*. (89-90), pp. 263-281
- Córsico, B.; Falomir Lockhart L. J.; Franchini, G. R. y Scaglia, N. (2013). *Análisis estructural y funcional de Macromoléculas*. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP).
- Crank, J. (1979). *The mathematics of diffusion*. Oxford University Press.
- Damodaran, K. V. y Merz, K. M. (1994). "A Comparison of DMPC- and DLPE-Based Lipid Bilayers". *Biophys. J*. 66(4), pp. 1076–1087.
- Damodaran, S. (1998). "Water activity at interfaces and its role

- in regulation of interfacial enzymes: a hypothesis". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 11(5), pp. 231-237.
- Defay, R. y Prigogine, I. (1956). *Surface Tension and Chemisorption*. New York: Wiley (Interscience).
- Del Regno, A. y Notman, R. (2018). "Permeation Pathways through Lateral Domains in Model Membranes of Skin Lipids". *Phys. Chem. Chem. Phys.* 20(4), pp. 2162–2174.
- Dervichian, D. (1939). "Changes of phase and transformations of higher order in monolayers". *The Journal of chemical physics*. (7), pp. 931-948.
- Díaz, S.; Amalfa, F.; Biondi de López, A. C. y Disalvo E. (1999). "Effect of water polarized at the carbonyl groups of phosphatidylcholines on the dipole potential of lipid bilayers". *Langmuir*, 15 5179-5182.
- Díaz, S.; Lairion, F.; Arroyo, J.; Biondi de López A. y Disalvo, E. (2001). "Contribution of phosphate groups to the dipole potential of dimyristoylphosphatidylcholine membranes". *Langmuir*. (17), pp. 852- 855.
- Disalvo, E. y Frías, M. (2013). "Water state and carbonyl distribution populations in confined regions of lipid bilayers observed by FTIR spectroscopy". *Langmuir*. (29), pp. 6969-6974.
- Disalvo, E. A. y De Gier, J. (1983). "Contribution of Aqueous Interphases to the Permeability Barrier of Lipid Bilayers for Non-Electrolytes". *Chem. Phys. Lipids*. 32(1), pp. 39–47.
- Disalvo, E. A.; Bouchet, A. M. y Frías, M. A. (2013). "Connected and isolated CH<sub>2</sub> populations in acyl chains and its relation to pockets of confined water in lipid membranes as observed by FTIR spectrometry". *Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes*. 1828(8), pp. 1683-1689.
- Disalvo, E. A.; Hollmann, A.; Semorile, L. y Martini, M. F. (2013). "Evaluation of the Defay- Prigogine model for the membrane interphase in relation to biological response in membrane- protein interactions". *Biochimica et Biophysica Acta*. 1828(8), pp. 1834-1839.
- Disalvo, E.A. (2015). "Membrane Hydration: A Hint to a New Model for Biomembranes". *Subcellular biochemistry*.

- (71), pp. 1-16.
- Disalvo, Edgardo y Bouchet, Ana. (2014). "Electrophoretic mobility and zeta potential of liposomes due to arginine and polyarginine adsorption". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. (440), pp. 170-174.
- Dynarowicz-Łątka, P.; Dhanabalan, A. y Oliveira, O. N. (2001). "Modern physicochemical research on Langmuir monolayers". *Advances in colloid and interface science*. 91(2), pp. 221-293.
- Fitter, J.; Lechner, R. y Dencher, N. (1999). "Interactions of hydration water and biological membranes studied by neutron scattering". *Phys. Chem. B*. 103(38), pp. 8036-8050
- Frías, M. A. y Disalvo, E. A. (2020). "Breakdown of classical paradigms in relation to membrane structure and functions". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Biomembranes*. 1863(2), pp. .
- Gennaro, A.; Rosa, A. S.; Cornelis, P.; Pfeiffer, H., Disalvo, E. A.; Wagner, P. y Wübbenhorst, M. (2019). "A compact device for simultaneous dielectric spectroscopy and microgravimetric analysis under controlled humidity". *Review of Scientific Instruments*. 90(12), pp. .
- Gremlich, H.-U. y Yan, B. (2000). *Infrared and Raman Spectroscopy of Biological Materials*. Boca Raton: CRC Press.
- Hübner, W. y Blume, A. (1998). "Interactions at the lipid-water interface". *Chemistry and Physics of Lipids*. 96(1-2), pp. 99-123.
- Jendrsiak, G. L. (1996). "The hydration of phospholipids and its biological significance". *The Journal of nutritional biochemistry*. (7), pp. 599-609.
- Jendrsiak, G. L. y Smith R. L. (2001). "The effect of the choline head group on phospholipid hydration". *J Chemistry Physics of Lipids*. (113), pp. 55-66.
- Käsbauer, M.; Junglas, M. y Bayerl, T. M. (1999). "Effect of cationic lipids in the formation of asymmetries in supported bilayers". *Biophysical Journal*. 76(5), pp. 2600-2605.
- Käsbauer, Michael y Bayerl, T. M. (1999). "Formation of domains

- of cationic or anionic lipids in binary lipid mixtures increases the electrostatic coupling strength of water-soluble proteins to supported bilayers". *Biochemistry*. 38(46), pp. 15258–15263.
- Langner, Marek y Kubica, Krystian (1999). "The electrostatics of lipid surfaces". *Chemistry and Physics of Lipids*. (101), pp. 3-35.
- Le Saux, A.; Ruyschaert, J. M. y Goormaghtigh, E. (2001). "Membrane molecule reorientation in an electric field recorded by attenuated total reflection Fourier-transform infrared spectroscopy". *Biophysical Journal*. 80(1), pp. 324-330.
- Lewis, R. N. A. y Mcelhaney, R. N. (2007). "Fourier transform infrared spectroscopy in the study practical considerations". *Methods in Molecular Biology*. (400), pp. 207–226.
- Luckey, M. (2014). *Membrane Structural Biology: With Biochemical and Biophysical Foundations*. Cambridge University Press.
- Luzardo, M del C.; Amalfa, F.; Núñez, A. M.; Díaz S.; Biondi de López, A. C. y Disalvo E. A. (2000). "Effect of Trehalose and Sucrose on the Hydration and Dipole Potential of Lipid Bilayers". *Biophysical J.* (78), pp. 2452-2458.
- Luzardo, M. del C.; Peltzer G. y Disalvo E. A. (1998). "Surface potential of lipid interfaces formed by mixtures of phosphatidylcholine of different chain lengths". *Langmuir*. (14), pp. 5858-5861.
- Makino, Kimiko; Yamada, Takeshi; Kimura, Mariko; Oka, Takashi; Ohshima, Hiroyuki y Kondo, Tamotsu (1991). "Temperature- and ionic strength-induced conformational changes in the lipid head group region of liposomes as suggested by zeta potential data". *Biophysical Chemistry*. (41), pp. 175-183.
- Marsh, D. (1996). "Lateral pressure in membranes". *Biochimica et Biophysica Acta - Reviews on Biomembranes*. (1286), pp. 183-223.
- Menestrina, G.; Cabiaux, V. y Tejuca, M. (1999). "Secondary structure of sea anemone cytolysins in soluble and membrane bound form by infrared spectroscopy". *Biochemi-*

- cal and Biophysical Research Communications*. 254(1), pp. 174-180.
- Milhaud, J. (2004). "New insights into water-phospholipid model membrane interactions". *Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes*. (1663), pp. 19-51.
- Mocanu, A., Pașca, R. D., Horovitz, O. y Tomoaia-Cotisel, M. (2010). "Behavior of mixed dmpc-cholesterol monolayers at the air/water interface". En *Chemia XLV*, 2, TOM II (pp. 303-312). Cluj-Napoca, Romania: Studia Universitatis Babeș-Bolyai.
- Mohtar, Lina; Ledesma, Ana; Disalvo, Edgardo y Frías, María de los Ángeles (2020). "Influence of carbonyl groups on the interaction of PLA2 with lipid interphases". *Colloid and Interface Science Communications*. 39(11), pp. 1-8.
- Morini, Marcela; Sierra, Maria; Pedroni, Viviana; Alarcon, Laureano; Appignanesi, Gustavo y Disalvo, Edgardo (2015). "Influence of temperature, anions and size distribution on the zeta potential of DMPC, DPPC and DMPE lipid vesicles". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. (131), pp. 54-58.
- Parsegian, V. A.; Rand, R. P. y Rau, D. C. (2000). "Osmotic Stress, Crowding, Preferential Hydration, and Binding: A Comparison of Perspectives". *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.*, 97(8), pp. 3987-3992.
- Pinto, O. A. y Disalvo, E. A. (2019). "A New Model for Lipid Monolayer and Bilayers Based on Thermodynamics of Irreversible Processes". *PLoS One*. 14(4), pp. .
- Qinqin Fei, David Kent, Wesley M. Botello-Smith, Fariah Nur, Saadia Nur, Abdelaziz Alsamarah, Payal Chatterjee, Maria Lambros y Yun Luo (2018). "Molecular Mechanism of Resveratrol's Lipid Membrane Protection". *Scientific Reports*. (8), pp. 1587-1598.
- Raffo, Ximena y Martini, Florencia (2010). "Ca<sup>2+</sup> adsorption to lipid membranes and the effect of cholesterol in their composition". *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. (76), pp. 215-220.
- Rao, C. S. y Damodaran, S. (2000). "Is surface pressure a me-

- asure of interfacial water activity? Evidence from protein adsorption behavior at interfaces". *Langmuir*. 16(24), pp. 9468-9477.
- Rosa, Antonio; Cejas, Jimena; Disalvo, Edgardo y Frías, María (2019). "Correlation between the hydration of acyl chains and phosphate groups in lipid bilayers: Effect of phase state, head group, chain length, double bonds and carbonyl groups". *BBA – Biomembranes*. (1861), pp. 1197– 1203.
- Rosa, A. S.; Disalvo, E. A. y Frías, M. A. (2020). "Water Behavior at the Phase Transition of Phospholipid Matrixes Assessed by FTIR Spectroscopy". *Journal of Physical Chemistry B*. 124(29), pp. 6236–6244.
- Rosa, Antonio S.; Cejas, J. P.; Disalvo, E. A. y Frías, M. A. (2019). "Correlation between the hydration of acyl chains and phosphate groups in lipid bilayers: Effect of phase state, head group, chain length, double bonds and carbonyl groups". *Biochimica et Biophysica Acta – Biomembranes*. 1861(6), pp. 1197–1203.
- Roy, A.; Dutta, R.; Kundu, N.; Banik, D. y Sarkar, N. A (2016). "Comparative Study of the Influence of Sugars Sucrose, Trehalose, and Maltose on the Hydration and Diffusion of DMPC Lipid Bilayer at Complete Hydration: Investigation of Structural and Spectroscopic Aspect of Lipid-Sugar Interaction". *Langmuir*. 32(20), pp. 5124–5134.
- Sharp, J. S.; Forrest, J. A. y Jones, R. A. L. (2002). "Surface denaturation and amyloid fibril formation of insulin at model lipid-water interfaces". *Biochemistry*. 41(52), pp. 15810–15819.
- Simon, S. y McIntosh, T. (1989). "Magnitude of the solvation pressure depends on dipole potential". *Proceedings of the National Academy of Sciences*. (86), pp. 9263-9267.
- Simon, S. A. y McIntosh, T. J. (1986). "Depth of Water Penetration into Lipid Bilayers". *Methods in Enzymology*. (127), pp. 511-521.
- Tatulian, Suren (1983). "Effect of lipid phase transition on the binding of anions to dimyristoylphosphatidylcholine liposo-

- mes". *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Biomembranes*. (2), pp. 189–195.
- Terrettaz, S.; Ulrich, W.-P.; Vogel, H.; Hong, Q.; Dover, L. G. y Lakey, J. H. (2002). "Stable self-assembly of a protein engineering scaffold on gold surfaces". *Protein Science*. 11(8), pp. 1927-1925.
- Tissera, María; Disalvo, Edgardo; Martini, Florencia y Cutrón, Andrea (2019). "Filling gaps in the knowledge of melittin on lipid membranes". *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. (561), pp. 136-146.
- Van De Weert, M.; Haris, P. I.; Hennink, W. E. y Crommelin, D. J. A. (2001). "Fourier transform infrared spectrometric analysis of protein conformation: Effect of sampling method and stress factors". *Analytical Biochemistry*. 297(2), pp. 160-169.
- Vollhardt, D. y Fainerman, V. B. (2006). "Progress in characterization of Langmuir monolayers by consideration of compressibility". *Adv. Colloid Interface*. (127), pp. 83–97.
- Zheng, C. y Vanderkooi, G. (1992). "Molecular origin of the internal dipole potential in lipid bilayers: calculation of the electrostatic potential". *Biophys. J.* 63 (4), pp. 935-941.



## II. ÁREA TEMÁTICA: CULTURA Y EDUCACIÓN

# PRIMERAS APROXIMACIONES HISTÓRICAS SOBRE LA CÁRCEL Y SOCIEDAD EN SANTIAGO DEL ESTERO

SILVIA BEATRIZ RODRÍGUEZ<sup>1</sup>; CLAUDIA SUÁREZ<sup>2</sup>; CRISTINA CUEVAS<sup>3</sup>;  
GABRIEL ALEJANDRO LÓPEZ PEPA<sup>4</sup>; SANTIAGO COMÁN<sup>5</sup>;  
RAMIRO SANTILLÁN<sup>6</sup>; VERÓNICA DÍAZ<sup>7</sup>

## Resumen

El presente estudio tiene como propósito explorar los orígenes

1 Docente e investigadora (Dir.). FHCSyS UNSE. Magíster en Ciencias Sociales.

2 Docente e investigadora. FHCSyS UNSE. Licenciada en Inglés e integrante del proyecto de investigación.

3 Responsable del Área de Trabajo Social SPP. Licenciada en Trabajo Social e integrante del proyecto de investigación.

4 Licenciado en Sociología FHCSyS UNSE. Coordinador Editorial Revista Estado y Sociedad (CEDEP – FHCSyS). E integrante del proyecto de investigación.

5 Docente e Investigador. FHCSyS UNSE. Magíster en Políticas Públicas e integrante del proyecto de investigación.

6 Abogado. Subsecretario de Justicia. Gobierno de la provincia de Santiago del Estero e integrante del proyecto de investigación.

7 Licenciada en Sociología FHCSyS UNSE y becaria CONICET del proyecto de investigación.

de la cárcel en la provincia de Santiago del Estero, para abordar diversas temáticas en referencia a ella, como la estratificación social y la cárcel, las condiciones edilicias y ambientales de la cárcel en tiempos de la colonia. El mismo se lleva a cabo en el marco del proyecto de investigación CICyT UNSE denominado "Caracterización de la población carcelaria del servicio penitenciario de la provincia de Santiago del Estero".

Desde lo metodológico, el diseño es exploratorio, ya que se intenta una familiarización con aspectos poco abordados respecto de las relaciones entre la cárcel y la sociedad santiagueña de la colonia. En el desarrollo del apartado de la construcción histórica de la cárcel, las fuentes fueron secundarias, en este caso de tipo documental, tomando como eje central las Actas Capitulares de la provincia en el periodo que comprende desde 1554 a.

En primera instancia, se trata de establecer una definición conceptual de la cárcel y abordar su historia a partir de una noción universal, recortando el campo hasta llegar a la provincia de Santiago del Estero. Segundo, se trata de establecer un hilo conductor espacio temporal que permita reconstruir la historia de la cárcel y sus actores, para comprender quienes debatían en torno a ella, quienes integraron la misma, y quienes eran autoridades y por qué.

Lo fundamental, radica en la reflexión acerca de las construcciones sociales y la cárcel a partir de su nacimiento.

Palabras Clave: Cárcel; Sociedad; Historia; Santiago del Estero

## Abstract

The purpose of this study is to explore the history of prison in Santiago del Estero province, to address prison-related themes such as social stratification and the prison; environmental conditions of the prison colony in the past, among other themes. Such a study is being carried out within the main research project CICyT UNSE: characterization of the prison population of the penitentiary system in Santiago del Estero province.

From a methodological stance, the design is exploratory since it aims at familiarizing with less addressed aspects related to the relationships between the prison and the santiagueño society of the colony. The sources selected in the development of the prison's historical construction section were mainly secondary and documental, taking as central axe the Actas-Capitulares of the province from 1554 onwards.

First, it seeks to establish a conceptual definition of the prison, tackle its history from a universal notion, trimming the field until reaching Santiago del Estero province. Second, it provides a timeline as a central thread to reconstruct the prison's history and its actors to understand who discussed it, who were part of it, and who its authorities were and why.

The fundamental point is the reflection on social constructions and the prison since its birth.

Keywords: Prison; Society; History; Santiago del Estero

## La cárcel. Primeras conceptualizaciones

Para la Real Academia Española, cárcel (Del lat. *carcer*, -*eris*) significa "local destinado a reclusión de presos". La RAE señala que se entiende a la misma como el "encierro o prisión voluntaria o forzada".

Existen diversos estudios acerca de los orígenes propiamente dichos de la cárcel, los cuales ahondan en detalle una realidad que es muy dispar a lo que hoy conocemos como contextos de encierro.

Es con las civilizaciones y con las sociedades ya estructuradas donde surge la preocupación por cómo tratar de eliminar el crimen aplicando castigos. No obstante, la prisión no aparece inicialmente relacionada con la idea de castigo sino con la de idea de detención.

Hasta llegado el siglo XVI, se utiliza la cárcel como un espacio donde mantener encerrados a los acusados de haber cometido algún delito, para luego así ser castigados. Sin embargo, con el paso del tiempo, y ayudado por múltiples motivos, la cárcel se fue consolidando como pena. Según Rodríguez y Magariños (2008), las denominadas casas de asilo para aquellas personas en estado de calle y trabajadoras sexuales aparecen en Inglaterra en 1552, y muy pronto surgieron en Alemania (1558) y en Holanda (1595). Con el paso del tiempo, todos los estados de Europa fueron tomando a la prisión como pena repressiva, aunque todavía se utilizaban los castigos más comunes de la época.

Por su parte, Rubio Hernández (2012) menciona que la aparición de estos establecimientos fue hacia 1552, al igual que los anteriores autores mencionados, solo que la diferencia está en el nombre con el que los menciona; Rubio Hernández sostiene que el nombre de "establecimientos correccionales" le fue dado por el "primer establecimiento que existió en Londres hacia 1552, la House of Correction".

Conviene resaltar que dichos centros no solo fueron destinados para trasgresores de la ley, sino también para mendigos, prostitutas, vagos, homosexuales, alcohólicos y enfermos mentales, es decir, la cárcel no tenía el sentido que hoy encontramos en su concepción moderna.

Existen investigaciones que plantean la visión de que la cárcel emerge en el seno de la transición de la historia entre la etapa feudal y la revolución industrial, atravesada por cambios en las estructuras de pensamiento, pero sería propicio aclarar que los contextos de encierro, aunque no utilizados de la forma como los conocemos ahora, ya existían desde antes de Cristo.

Para comprender o saber qué significaba o cómo era definida la cárcel en tiempos antes de Cristo, fue necesario indagar en profundidad. Las cárceles eran lugares de encierro para aguardar las condenas que, por lo general, se caracterizaban por ser violentas y crueles.

En el Antiguo Testamento, la palabra cárcel, acompañada por historias, se presenta en varias ocasiones y, por lo general, el mencionado contexto se utiliza para castigos de tiempo muy corto o para esperar el veredicto de castigo de alguna autoridad, sea el faraón o el emperador.

En tiempos después de Cristo, se retrata a la prisión con dos espacios diferenciados: se habla de una prisión común y una subterránea, donde los presos muchas veces eran condenados en jaulas de hierro sólido y donde además sufrían torturas por parte de los soldados del imperio.

Sandoval Huertas (1982), citado en Rubio Hernández, 2012) refiere en sus trabajos sobre la transformación de la pena, y menciona para esto cuatro fases, de acuerdo con la función declarada de cada momento histórico. Es así que destaca la fase vindicativa, expiacionista o retribucionista, correccionalista y resocializante.

En los pueblos primitivos se puede encontrar la primera fase, la cual se extiende hasta el periodo conocido como el

Antiguo Régimen; en este, la venganza es el primer antecedente de la pena, aunque cabe aclarar que no se trataba de una reacción institucional.

Para Rubio Hernández (2012), el nacimiento de las incipientes formas de Estado trasladó el derecho a castigar a manos del jefe del grupo, el cual era el encargado de decidir por los demás; esta figura implicaba el surgimiento de un tercero que hacía las veces de árbitro en la solución de los conflictos, asumiendo así la función de control ante el acto de vengar un delito o accionar desviado, garantizando el castigo, el cual debía ser igual al daño causado.

Según Speckman Guerra (2002), el desplazamiento del poder de condena a los representantes de la divinidad provocó que muchos autores denominaran al periodo como el de la venganza divina o teocrática. "La concepción de cárcel como lugar de custodia donde el reo esperaba el momento de la ejecución, ya fueran mutilaciones, azotes, la vergüenza pública y/o el servicio en galeras prevaleció dentro del derecho del Antiguo Régimen" (p. 25).

En el caso particular de América Latina, Salvatore y Aguirre (2017) sostienen que el surgimiento de las instituciones penitenciarias en la región nace como un pedido de las élites cultas de cada país, en el intento por establecer penas o castigos más civilizados y modernos. Por otra parte, Bretas (1996, citado en Salvatore y Aguirre, 2017) afirma que, más allá de que a la vista se haya modificado la imagen de la pena para los reos, a ciencia cierta los nuevos y modernos edificios no engañaban a la sociedad, sabían que puertas adentro los castigos y el sufrimiento seguían adelante.

Siguiendo a Rodríguez Alzueta (2015), podremos decir que, en el debate sobre la cárcel en Argentina como contexto de encierro y castigo, se presentan diversas perspectivas donde, al parecer, este espacio sería el último de una cadena en torno a los acusados que finalmente terminan en estos lugares. Por

otra parte, también es preciso destacar que la cárcel debería presentarse para los condenados como un espacio donde se busque su reinserción social, aunque en la realidad termina convirtiéndose en el hogar de aquellos que no logran desprenderse del delito.

### Construyendo la historia de la cárcel en Santiago del Estero

En este contexto de surgimiento de la cárcel en Argentina, no puede dejar de mencionarse que, dentro de la historia del país, Santiago del Estero fue el primer territorio poblado por inmigrantes españoles y se considera como la "Madre de Ciudades" del país. Antes destacábamos que en Europa la Casa de Corrección surgía en 1552; siguiendo a Díaz, diremos que:

Fue el bravo capitán Diego de Rojas quien llegó a la vasta provincia indígena del Tucumán, punto inicial desde 1.543, de la civilización del norte argentino. Luego hubo hombres que participaron en su fundación: Juan Núñez de Prado, con las tres Ciudades Del Barco, invoca al Apóstol Santiago, y la coloca bajo su protección a esta ciudad del "Nuevo Maestrazgo de Santiago"; luego el Capitán Francisco de Aguirre la traslada en 1.553, la denomina Tierra de Promisión, y la ubica en el actual Santiago del Estero. (Díaz, 1983)

En este contexto, Tenti (1997) señala que el Cabildo surgió con la fundación de la ciudad. En torno a la composición del mismo, cabe mencionar que, hasta principios del siglo XIX, el Cabildo estuvo constituido por dos alcaldes y tres regidores; cada uno de ellos ejercía distintas funciones.

Dentro de la conformación del cabildo, en lo que respecta a la cárcel y las funciones jurídicas, el alguacil mayor era el encargado de hacer cumplir las disposiciones de los alcaldes y el encargado del mantenimiento del orden y de la atención de la



cárcel pública y los presos (Tenti, 1997).

Sobre el edificio, Di Lullo, en su estudio sobre la Casa del Cabildo de Santiago del Estero en el siglo XVIII, intenta una reconstrucción de la cárcel y la describe así:

Hacia la parte de la plaza tenía dos plantas y formando ángulo recto con la fachada se extendía una serie de aposentos pertenecientes también al edificio principal, pero que servían de viviendas a funcionarios o particulares. Este cuerpo de aposentos era de una sola planta techada de tejas como los altos del Cabildo, sobre un cañizo cubierto de barro.

Por su parte, el edificio principal tenía hacia delante y hacia atrás dos corredores, uno alto y otro bajo, con la techumbre en la misma forma, corredores que eran sostenidos por pilares de madera de quebracho o de algarrobo. El frente era de treinta y tantas varas aproximadamente y el fondo de 40. En la planta baja, frente a la plaza, se abría el zaguán. A la derecha de él se encontraba la sala Capitular Baja, sobre cuyo mojinete se alzaba primitivamente la escalera de acceso a los altos, escalera que fue cambiada luego el mojinete que se encontraba entre la Sala Capitular y el aposento contiguo que servía de oficio público. Hacia la izquierda del zaguán encontró base un pequeño cuarto con escalera de acceso a los altos para uso de los carceleros y presos, la cárcel y el calabozo, éste último colindante con la casa de Don Francisco Ellacuariaga. El calabozo tenía seis varas, mientras que la cárcel era de ocho varas de largo con cinco y cuarta varas de ancho. El techo bajo de la fachada principal era de madera y servía de piso a las habitaciones altas.

Según los aportes de Tenti (1997), dentro del entramado judicial las penas no se aplicaban de igual modo para blancos, mestizos, indios, mulatos o negros. Así, las penas variaban entre los que delinquían, pero teniendo en cuenta su etnia. En este contexto, la cárcel pública es mencionada como un contexto de encierro con pena de un mes para aquellos que cometieran el delito de robo de ganado (hoy legalmente de-

nominado abigeato).

Cabe mencionar, siguiendo a Rossi (2006), que el disciplinamiento social en Santiago del Estero guardaba estrecha relación con el objetivo central dentro del marco de surgimiento de las casas de corrección en la Europa del Siglo XVI. En el territorio santiagueño, "una gran masa de vagos, mendigos, ociosos o simplemente mal-entretenidos", bajo la consigna del trabajo como estándar de la moralidad, eran disciplinados mediante la prisión.

Lo que sí es preciso señalar en cuanto al concepto es que en el estado del arte local no se encuentran construcciones ontológicas que den cuenta de cómo piensan los intelectuales a los contextos de encierro, a partir de la fundación de Santiago del estero y hasta la actualidad.

A modo de aporte y construcción, podríamos apreciar que la cárcel en Santiago del Estero se definiría como un espacio físico donde los reos condenados por delitos cumplen condenas y desarrollan diversas actividades, con el objeto de reinserirse nuevamente dentro del entramado social.

## La cárcel en el periodo colonial

Como ya se dijo antes, si bien existen antecedentes diversos que mencionan a la cárcel en cuanto a su estructura arquitectónica, dentro de las construcciones legales y jurídicas de la ciudad de Santiago del Estero no existen aportes que hagan referencia a la historia de la cárcel en la mencionada provincia.

Partiendo de las fuentes secundarias, a través de las Actas Capitulares de Santiago del Estero, recién en el año 1728, 175 años después de la fundación de la ciudad colonial, se puede avizorar datos que nos permitan describir a la cárcel en ese periodo, ya que existe una laguna histórica en la que aún no se ha podido ahondar al respecto.

En cuanto a la forma de escritura en el presente artículo es necesario aclarar que se ha transcritto textualmente las actas capitulares (con sus errores gramaticales propios de la época) pudiendo así analizar y contemplar los hechos relatados en su lenguaje original.

El 12 de abril de 1728, en reunión ordinaria de los cabildantes, se resuelve atender la composición de la cárcel y del calabozo, como también proveer a la misma de las prisiones que fueran necesarias para la seguridad de los presos. Para ello se facultaba a Don Antonio de Olleta, alcalde ordinario de segundo voto, para la reedificación de la institución.

El 21 de septiembre de 1728, por lo que se contempla en actas, el estado de la cárcel y casas capitulares es deplorable, por tanto, se ordena a Don Joseph de Aguirre, lugarteniente de Gobierno, para que se haga cargo de la reparación y reedificación. En el análisis, se observa que, si el lugar estaba en malas condiciones edilicias, corresponde pensar que la cárcel ya estaba edificada dentro del cabildo antes de 1728, con lo que se calcula que tiene 175 años, o menos, de historia.

El 24 de diciembre de 1728, con motivo del "nacimiento del Salvador", los cabildantes instan a jueces ordinarios a no trabajar en el contexto de esta festividad y a visitar a los presos, así mencionados en actas. Además, se resuelve que a aquellos presos que no cuenten con una causa grave se les permita el derecho de quedar en libertad.

Cinco años después, el 22 de enero de 1733, se hace entrega a Ignacio Basan de la vara y llaves de la cárcel pública, nombrándolo "Ministro de la Real Justicia". Hacia el 27 de julio del mismo año, se atiende nuevamente el reparo de la cárcel, por presentar un estado deplorable, en condiciones de riesgo de derrumbe, y se hace referencia al daño que hicieron los detenidos y a las "muchas fugaz" por parte de los mismos. Se deja en evidencia en esta acta que las condiciones de seguridad de la cárcel son muy débiles. Por tanto, se ordena la repara-

ción y construcción de dos cuartos, uno interior y el otro exterior, a quien se menciona como Sargento Mayor, Don Joseph Días Caballero.

El 27 de febrero de 1734 es la fecha en la que se menciona por primera vez al "Presidio Real de Balbuena". Siguiendo a Rossi (2006), podemos determinar que antes de 1711 ya existía un fuerte que luego fue el Presidio de Balbuena. En esta oportunidad, Don Juan de Santillán, Procurador General Maestro de Campo, realiza la petición e informa sobre los peligros constantes de las fronteras por los que se ve afectada la provincia.

El 21 de abril de 1738 se realiza un proceso de investigación, solicitando el paradero de ocho pares de grillos y dos esposas, prisiones, pertenecientes a la ciudad.

El 12 de enero de 1745, siete años más tarde del último hecho registrado en torno a la cárcel, Don Francisco de la Barreda<sup>8</sup>, Miguel de Paz y Figueroa, Joseph López de Velasco y Thomas de Ibarra se dirigieron a la cárcel y no encontraron presos allí. Luego de ello, se le hizo entrega a Don Tomás de Ibarra de la vara de la Real Justicia.

El 27 de abril de 1745, los cabildantes se reúnen habiendo pasado la festividad de la Pascua y deciden la reapertura del seguimiento de las causas y la visita a la cárcel, en la cual no se encuentran presos.

El 4 de junio de 1746, reunidos los cabildantes, se tratan temas en referencia al Real Hospital de la ciudad, sin dejar de lado la visita a la cárcel, en donde encuentran una reja quebrada, la cual sostienen debe repararse para la seguridad de la misma. Entonces se ordena colocar un fierro en ese lugar que saldrá de los impuestos de los ciudadanos.

El 31 de diciembre de 1746, habiendo hablado Don Francisco

<sup>8</sup> Lugarteniente de Gobernador, Justicia Mayor y Capitán de Guerra.

de la Barreda sobre el hecho de poder establecer acciones que consigan la paz de la "República", así mencionada, de la cual se consideran fundadores los cabildantes, los mismos visitan nuevamente la cárcel y no encuentran preso alguno.

El 23 de enero de 1748, ya se puede visualizar en actas, el tratamientode temas netamente legales y de competencia judicial, en cuanto a que los cabildantes admiten y alquilan cuatro pulperías y establecen que queda prohibida la venta en casas particulares de todos los efectos pertenecientes a pulperías, estableciendo que quien infrinja este decreto perderá los objetos que tenga a la venta, en caso de ser blanco; sin embargo, se sostiene que en caso de ser "indio o india, mulato o mulata", recibirían la pena de cincuenta azotes, "y si fuere de otra esfera de ocho días de cárcel" (Tenti, 1997, 57).

El 16 de mayo de 1748 se reciben ocho pares de grillos, los cuales le son entregador al Procurador General, Don Rodrigo López Caballero, a quien se le encarga hacer marcar los mismos con la letra "R" para que no sean cambiados.

El 24 de septiembre de 1750, Ignacio de Ábalos, reo asegurado con dos pares de grilletes por "delito criminal", escapa de la cárcel escalando, abriéndola en el techo, rompiendo el candado y llevándose los mencionados grilletes. A lo que se hace referencia es que este reo es el organizador de una serie de juegos ilícitos y que es jefe de un grupo de hombres, "Pedro Ocaranza, Francisco Navarro, Gregorio Lusía, el que por mal nombre llaman frayle Cosme y otro llamado Lorenzo Mathias<sup>9</sup>". Mediante el engaño de dichos juegos, ejecutaban robos a la comunidad. Es decir, en 1750 ya existe un preso que

9 Algunas palabras expresadas en la presente investigación son textuales extracciones de las Actas Capitulares originales, por tanto, no se encuentran escritas de forma correcta. Las Actas Capitulares tienen 4 tomos, no están enumeradas y se encuentran en el Archivo histórico de la provincia de Santiago del Estero.

está prófugo de la justicia y otros sospechosos sueltos.

El 8 de febrero de 1751 registra que, en esta oportunidad, los cabildantes se reúnen y debaten, aunque por falta de un escribano deciden dar paso a la visita de la cárcel; no se hace mención de la cantidad de reos en ella.

El 10 de abril de 1752, reunidos en la sala capitular, los cabildantes hacen referencia a que la ciudad ha padecido fuertes lluvias que han afectado diversas estructuras, entre ellas la cárcel, la que debe ser nuevamente reparada. Por lo tanto, se define extraer del alquiler de los cuartos pertenecientes al cabildo, el dinero para gastos.

El 16 de enero de 1754, se ordena nuevamente la reparación de las casas capitulares y de la cárcel, buscando una mayor seguridad. Además, se decide la construcción de otro calabozo fabricado dentro de la cárcel y con maderas de quebracho colorado. Por otra parte, y por falta de ministro, se designa a Melchor Reinaga como carcelero y se establece que su sueldo será remunerado según los tipos de presos en la cárcel, por lo tanto, se le dará doce reales por cada preso español o mestizo, un peso por cada mulato o negro y seis reales por cada indio. Es decir, tal como menciona Tenti (1993), los presos eran clasificados por etnia en tiempos de la colonia.

El 30 de octubre de 1754 se solicita saber cuál es la composición de la cárcel y del calabozo, haciendo referencia a que también es necesario saber cuánto costaría su reparación, dejando la aprobación de esta reunión cuando se complete el quórum de autoridades faltantes.

El 16 de septiembre de 1755 se encuentra en las actas capitulares otro reo similar a Ignacio de Ábalos; es el caso de Agustín Luna, quien en dos oportunidades ya se había fugado de la cárcel escalando, pero que aún se encontraba preso. Por consiguiente, se solicita al alcalde que tenga en cuenta la falta de seguridad de la cárcel y se hace mención a que los techos son de adobe.

El 13 de marzo de 1756 un hecho singular sucede en el cabildo; los cabildantes, el día anterior, no había podido reunirse por estar ocupada la sala de justicia con un preso distinguido, Don M. Ferrando. Él estaba casado con la biznieta de un exgobernador, Don Alfonso de Alfaro. Es por ello que a Ferrando lo dejaron arriba, en la Sala Capitular, lejos de la prisión pública. Se dispone en esta reunión que no podrán establecerse reuniones de cabildantes mientras exista preso en la sala y que la sala deberá ser conservada sin preso alguno para conservarla "decente y desocupada" para las prisiones de personas de distinción. Además de todo ello, se menciona que el año anterior ya había habido antecedentes de algo parecido cuando Don Joseph Purisele, quien había estado en cárcel pública, había sido llevado a la Sala Capitular.

El 3 de abril de 1756 se solicita a los cabildantes que no se ocupe la Sala Capitular por ninguno de los juzgados para la prisión de personas.

El 7 de enero de 1757 la reunión en el cabildo es diferente. Los miembros son mencionados como miembros de la justicia y son Franco de la Barreda, Franco Xavier de Pereira y Martin Donzel, quienes sostienen la necesidad de nombrar a un carcelero que sea el encargado de cuidar la cárcel y a los presos, además de servir a los juzgados en algunas diligencias. En consecuencia, se designa a Melchor Reinaga para esta función, usando una insignia para que sea reconocido.

El 7 de agosto de 1758 se acuerda el traslado de las prisiones de Lules y Vilelas, por la mudanza del pueblo a la antigua ciudad de Esteco, las cuales estaban en la jurisdicción del Río Salado. Por esta razón, se acuerda este traslado mediante la reunión de los cabildantes presentes.

El 23 de diciembre de 1758, un gran debate sucede en el cabildo en torno a conflictos que involucran a autoridades. Con respecto a esto, se solicita el embargo y el mandamiento de prisión para los regidores de la ciudad de Santiago del

Estero, Don Joseph López de Velazco y Don Roque López de Velazco. Por otra parte, se absuelve a Don Domingo Ferrando, aunque los mencionados regidores también serán absueltos bajo fianza.

El 14 de enero de 1760 se menciona a Agustín de Iramain como alcalde ordinario de segundo voto y juez de menores, designado por "su Majestad". Se informa en la oportunidad que se encuentra a la cárcel calada y con su cepo descompuesto, ya que el candado está roto, por lo que se manda a reparar a la brevedad y nuevamente, como tantas veces atrás, se ordena componer el estado de la misma.

El 6 de agosto de 1760, las condiciones edilicias del cabildo se presentan nuevamente como deplorables; además, existen goteras que aquejan a los cabildantes por motivos de posibles derrumbes. En este marco, Don Manuel de Mendoza, vecino de la ciudad, presenta un petitorio a fin de arrendar todas las habitaciones del cabildo; ante ello, los cabildantes resuelven el arrendamiento de las mismas a un valor de ochenta pesos anuales, con excepción de la cárcel y el calabozo que no serían arrendados.

A condición del arrendamiento, se solicita a Mendoza que ponga en condiciones la cárcel mediante el pedido de poner una estacada en cuadro, de quebracho enterrada en el suelo. Se determina asegurar el cepo para mayor seguridad y que de ellos salgan abrazaderas de fierro para que puedan impedir a los presos moverlo. Se solicita, además, asegurar el techo para que se adhiera una nueva vara de buena calidad.

El 14 de enero de 1761 se nombra como ministro portero, con oficio de carcelero, a Joseph Bargas, designando así que viva en el cuarto contiguo a la cárcel para el cuidado de reos y las diligencias jurídicas. La presente acta es firmada por Juan Joseph de Paz, Franco de Argañaraz y Murgia y Ant. de Arias.

El 7 de marzo de 1763 tiene como registro que, en esa oportunidad, los cabildantes debaten sobre el hecho de que



no se repararon las casas capitulares y mucho menos la cárcel pública, por lo tanto, se ordena la pronta reparación.

El 14 de octubre de 1766, el cabildo debate la solicitud de reforzar la milicia por disturbios que generan algunos mulatos; En este sentido, se ordena que se auxilie a la milicia, para lo cual acuden los cabos militares con gente (no se especifica en actas cuenta cantidad). Por otra parte, se hace mención con respecto al deplorable estado de la cárcel, la cual es vista como un espacio de donde la mayor parte de los reos se escapan y no cumplen condena; se considera que ella es la mejor pena, pero que no funciona por las malas condiciones que presenta el edificio y que no existe seguridad en él.

El 6 de diciembre de 1768, mediante una reunión y ante la ausencia de varios cabildantes, de forma breve se informa que deben resolverse las causas criminales mediante las cuales los delincuentes han escapado de la cárcel local.

El 7 de enero de 1769, el Cabildo resuelve que no pueden usar títulos honoríficos las personas que no los hayan obtenido por sus méritos de autoridad competente. Por eso, se hace saber que existen personas que utilizan los títulos de Maestros de Campo y Sargentos sin tener los mencionados títulos oficiales y es por ello que los cabildantes resuelven lo antedicho.

El 13 de febrero de 1770, Don Fernando Bravo de Zamora y Don Antonio García de Villegas son nombrados en Cabildo Abierto a fin de que realicen, en la ciudad y jurisdicción, un prorrato en dinero, efectos, frutos u otras especies, a los fines de la construcción de la Cárcel Pública.

Según Rodríguez (2009), hacia finales de 1700, la cárcel estaba al fondo del Cabildo por ser parte integrante de su edificio. Cuando quedó abolida la institución del Cabildo, quedó allí la policía donde funcionaba la cárcel<sup>10</sup> (1869). En 1889, se

habilita uno de los departamentos del Hospital Mixto con destino para casa correccional de mujeres. Ya en el año 1932, se ordena durante el gobierno del Dr. Juan B. Castro la construcción de la cárcel penitenciaria.

### La cárcel en la actualidad

En 1934 se inaugura la cárcel pública y en ella el edificio donde funciona el Penal de Varones con capacidad operativa para albergar a 250 internos. En 1948, la provincia compra el "Campo de las carreras", una finca colindante con el edificio del penal, una zona en cierta proporción edificada desde Belgrano por Alsina casi Colón, sin contar los caseríos, ya muy extendidos por las calles Rodríguez, Lavalle, Viamonte y Castelli (Donzelli y Campos, 1983).

El Servicio Penitenciario Provincial sigue ubicado en la zona descrita anteriormente, sobre calle Av. Alsina N° 850 entre las avenidas Colón y Moreno, a diez cuadras de la plaza central de la ciudad de Santiago del Estero. Si bien es cierto que al edificio se le fueron agregando distintas construcciones, no es menos cierto que la falta de adecuado mantenimiento a sus instalaciones ha generado un marcado grado de deterioro edilicio.

El Servicio Penitenciario Provincial es la rama de la administración pública activa destinada a la custodia y guarda de los procesados y a la ejecución de las sanciones penales privativas de la libertad, de acuerdo con las normas legales y reglamentarias vigentes. A su vez, la Dirección General de Institutos Penales de la Provincia es el Organismo Técnico de Seguridad y Defensa Social que tiene a su cargo los institutos y servi-

---

donde funcionaba antes el Cabildo, ubicándola en el domicilio de Libertad frente a la plaza Manuel Belgrano de la ciudad de Santiago del Estero. La policía también tenía salida por la calle Pellegrini.

cios destinados a la custodia y guarda de los procesados y a la readaptación social de los condenados a sanciones penales privativas de la libertad en el territorio de la provincia, dependiente del Poder Ejecutivo, por intermedio del Ministerio de Justicia, Trabajo y Derechos Humanos a través de la Subsecretaría de Justicia<sup>11</sup>.

El Servicio Penitenciario Provincial está constituido por una Dirección General, una Secretaría Técnica Administrativa, una Dirección de Administración, una Junta de Clasificación, una Dirección de Fábricas, Área de Servicio Social, Área de Asistencia Médica, el Organismo Técnico Criminológico, Área de Educación y cuatro unidades carcelarias: Unidad 1 - Penal de Varones, Unidad 2 - Penal de Mujeres, Unidad 3 - Colonia Pinto y Unidad 4 - Penal de Menores; tres de ellas ubicadas en distintos espacios geográficos de la ciudad Capital y la Unidad 3 en la localidad de Villa Robles del departamento Robles.

En 1968, el Poder Ejecutivo de la Provincia dicta el Decreto Serie "A" N° 891 (1968) que establece el sistema de administración sobre el trabajo de los internos. En él se plasma el reglamento y las funciones que regirán las tareas que se llevan a cabo en los talleres y fábricas de todo el ámbito penitenciario provincial.

En el año 1972 y en la necesidad de organizar el sistema laboral carcelario, en el Penal de Varones se creó el área de fábrica que tiene como finalidad la implementación de actividades laborales y de capacitación intramuros, de manera de asegurar al recluso su reinserción social a través de tres elementos: sistema social - institución carcelaria - interno.

Desde la creación de la dirección de fábrica y hasta principio de la década de los noventa, en el interior de esta unidad carcelaria se desplegaban actividades de capacitación laboral

11 Ley Penitenciaria Provincial N° 3981.

para todos los internos. Entre estas actividades se puede mencionar a las siguientes: zapatería, panadería, escobería, bloquera, corte y confección, carpintería de madera y metálica, herrería artística, electricidad, plomería, imprenta, peluquería, mosaiquería, tabique, servicios generales (pelotones de trabajo móvil de limpieza), taller mecánico, radio y televisión (Donzelli y Campos, 1983). Se desarrollaban estas actividades como instrumento válido para cumplir con la posibilidad, aunque sea mínima, que un individuo-delincente logre su reinserción social.

Por su parte, el nacimiento de la escuela en las unidades penitenciarias de nuestra provincia -más precisamente en el Penal de Varones- tiene sus antecedentes a principio de la década de los 70, cuando surge el primer convenio entre las Subsecretarías de Gobierno y Educación<sup>12</sup>. La escuela en Santiago del Estero funciona desde 1973; en ella se implementó solo el nivel primario con docentes del nivel de educación para adultos.

Desde sus orígenes, las autoridades provinciales manifestaron escaso interés tanto con respecto a lo edilicio como con relación al aspecto organizacional en las unidades carcelarias. Con referencia a esto, se rescata una entrevista realizada al director de la escuela "Corazón de María" del Penal de Varones y docente del EGB2, Profesor García<sup>13</sup>:

Hace veinticinco años que me desempeño en el penal de varones, recuerdo que comenzamos dos docentes, yo y el profesor Hardy, y aun cuando me habían designado como director de la escuela, yo también enseñaba en el aula.

12 En ese entonces, ambas formaban parte del Ministerio de Gobierno, Educación y Trabajo de la provincia de Santiago del Estero.

13 Entrevista realizada durante el Mes de julio de 2019, en instalaciones del servicio penitenciario provincial, sito en Av. Alsina 850, en el marco del proyecto de investigación.

Recuerdo que comenzamos con dos grupos de internos, ya que solamente disponíamos de tres piezas, la más chica para la biblioteca y dos restantes, que son más grandes, para el funcionamiento de las aulas. El primer grupo funcionaba como primer grado y era para los que no sabían leer ni escribir, y el otro era para los que sabían leer y escribir. En cada grupo había inscriptos entre treinta y treinta y cinco internos, aunque en esa época no hacíamos diferencias entre procesados y condenados.

El Consejo de Educación nos proveía de los útiles escolares elementales y uno que otro libro de lectura.

Con el correr de los años, esta iniciativa se fue diluyendo porque empezábamos a tropezar con las requisas, la pérdida de las herramientas escolares, la discontinuidad del interno a clase, etc.

Si tengo que hacer un balance, diría que se hizo muy poco porque siempre tropezábamos con la requisa, el trato del personal penitenciario y con la infraestructura edilicia.

Cuando reclamábamos la desaparición de los libros y la inasistencia de los internos a clase, el director del penal nunca nos recibía. A nosotros nunca nos comunicaban por qué un interno no bajaba o por qué no traían sus cuadernos, o por qué desaparecían los libros de la biblioteca; esto entorpecía el funcionamiento del dictado de las clases.

Rodríguez (2010) comenta que las posibilidades de participación de los internos en las aulas han sido escasas y el trabajo autónomo de los docentes se ha visto condicionado por las disposiciones de seguridad del penal y por las conductas inapropiadas del personal penitenciario.

Al ser la cárcel un régimen cerrado organizado en pabellones y celdas, con una fuerte rigidez y una estructura vertical de funcionamiento, la comunicación entre sus directivos o el guardiacárcelcelador y el de la escuela tiende a ser escasa, lo que dificulta la convivencia y la construcción de acuerdos basados en criterios comunes para el manejo de los internos. Un indicador de esta falta de acuerdos se refleja en las decisiones

unilaterales de los guardiacárceles que regulan la disponibilidad de los internos para ir a la escuela.

Estos antecedentes nos permiten apreciar que no siempre el penal de Santiago del Estero tuvo las finalidades que actualmente se le asignan. En los tiempos remotos, fue un mero depósito de aseguramiento destinado a la retención de los delincuentes, a quienes se infligían otras penas, generalmente cruentas, propias de los catálogos imperantes en cada época. Luego aparece la privación de libertad y con ella el ingreso a las unidades carcelarias de la provincia, con la fisonomía propiamente dicha, pero sin que se modifique la finalidad perseguida: la cárcel es para castigo del delincuente; en consecuencia, en ella debe primar el criterio de seguridad.

A partir de la intervención federal a la provincia de Santiago del Estero en el año 2004, y la intervención del Servicio Penitenciario Provincial, personal penitenciario federal a cargo de la Dirección General del Servicio Penitenciario implementa la Ley de Ejecución de la Pena Privativa de Libertad N° 24660. En todas sus modalidades, tiene por finalidad lograr que el interno condenado adquiera la capacidad de comprender y respetar la ley procurando su adecuada reinserción social, promoviendo la comprensión y el apoyo de la sociedad. En consecuencia, el régimen penitenciario deberá utilizar, de acuerdo con las circunstancias de cada caso, todos los medios de tratamiento interdisciplinarios que resulten apropiados para la finalidad enunciada.

## Conclusiones

La cárcel santiagueña fue un ámbito de mucho debate y reflexión dentro del cabildo local. Los cabildantes, en muchas oportunidades, sostenían fervorosos encuentros en los que los roles de las autoridades y los juicios llevaron ríos de tinta

dentro de las Actas Capitulares. No era fácil disponer sobre las "condenas" o "castigos" y ello conllevó a muchas disputas.

Existe una coincidencia histórica fundamental que, a perspectiva propia, resulta muy interesante. En 1552 se crea la Casa de Corrección en Europa, justo cuando Núñez del Prado llegaba a nuestro territorio; más tarde, ya podemos ver mencionada a la cárcel un poco más cercana al sentido que le podríamos encontrar ahora, aunque sumida en el concepto de lugar de castigo o para esperar el castigo.

Si hablamos de estratificación social, si bien el concepto de clases sociales, como lo acuñó Carlos Marx en 1800 no existía, se puede apreciar que aquellas personas que poseían vínculos o relaciones con la nobleza no eran confinadas a la "cárcel común" que ya era nombrada de esta forma por aquel entonces. Es el caso del esposo de la nieta de un exgobernador, que al haber incurrido en delito fue "demorado" en una de las salas capitulares y liberado días después tras pago de fianza. Por su parte, aquellos que eran mulatos, negros o mestizos no tenían la misma suerte de no ir presos a la cárcel común y, además, eran sometidos a azotes. Tampoco era el mismo el castigo para comerciantes; para ellos la prenda era económica, no física, y, como bien lo explica Tenti (1997), la variación en los castigos dependía de la clase social y de la etnia.

Los roles de la justicia también son un tema a tratar; quienes se encargaban de la justicia debían ser designados por el rey y, mediante la misma designación, cumplir con la resolución de las causas, además de tener en cuenta las problemáticas relacionadas con los presos.

Se puede observar en las Actas Capitulares la aparición de un carcelero, persona encargada de cuidar la cárcel y a los presos, y se establece su paga según quien sea el que esté preso, doce reales por cada preso español o mestizo, un peso por cada mulato o negro y seis reales por cada indio.

En cuanto a las actividades de las autoridades, la más rela-

cionada con el presente era la rutina de las visitas a la cárcel; es común leer en varias ocasiones que no se encuentran presos y en otras que los presos se han escapado. Por lo general, los presos eran varones, no se especificaba la edad y solo se diferenciaba la etnia cuando se hacía mención a personas de la nobleza.

Lo más destacado dentro de las observaciones en la lectura de los documentos es lo referido a las condiciones deplorables que presentaba la cárcel y la baja seguridad con la que contaba la misma. Se ordenaba y se destinaba a diversos funcionarios para que repararan la cárcel y que le sumaran mayores condiciones de seguridad, pero evidentemente fueron trabajos que no se realizaron o que se realizaron mal, debido a que se volvieron a ordenar en reiteradas circunstancias. Las rejas eran muy precarias, el techo de adobe y en dos oportunidades los presos se escaparon por el mismo.

Hay que advertir sobre la existencia de varios "fuertes" en lugares alejados del espacio urbano, dentro de bosques, y que eran utilizados para mantener presos a aquellos que habían sido enemigos de los límites del territorio.

La religión era muy importante dentro de los contextos de debate sobre los presos y la cárcel; existen registros de oportunidades donde, a raíz de la conmemoración de fechas claves para el culto católico apostólico romano, se dejaba en libertad a aquellos que no habían violado la ley de forma grave.

En cuanto a los crímenes cometidos, los más comunes eran el hurto, el robo, el robo de ganado y algunos asesinatos, aunque con arma blanca. Por cierto, también se informa sobre la venta ilegal de productos exclusivos de venta de un local comercial y el desacato a las órdenes del rey dentro de las personas que pertenecían a la nobleza.

Finalmente, a los orígenes del sistema carcelario los encontramos en el Cabildo, que aparece en Santiago del Estero desde sus albores, antes de su nacimiento como ciudad. A pesar



de la gran laguna que media entre los pocos documentos de la primera época y el cuerpo de actas de los siglos XVIII y XIX, han quedado referencias precisas que permiten señalar su presencia en las horas primeras de la ciudad. También, las voces involucradas en las Actas Capitulares de Santiago del estero, hablan de un penal que se había iniciado con una fuerte actividad industrial y agropecuaria que generaba una demanda importante de mano de obra para los internos sin distinción de su situación legal, como así también la presencia del espacio escuela.

## Bibliografía

- Argentina. Santiago del Estero. *Actas Capitulares Tomo I, II, III y IV*.
- Díaz de Raed, Sara (1983) "Santiago del Estero". Editorial El Liberal. 93 páginas.
- Enríquez Rubio Hernández, Herlinda (2012). "La prisión. Reseña histórica y conceptual". *Revista Ciencia Jurídica*. 1 (2), pp. 11 – 28. Departamento de Derecho. División de Derecho Política y Gobierno, Universidad de Guanajuato.
- Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud (s.f.). "Santiago del Estero, Mayo y el Cabildo". <https://fhu.unse.edu.ar/index.php/noticiashumanidades/917-santiago-del-estero-mayo-y-el-cabildo>
- Rodríguez, Silvia Beatriz (2009). "Desarrollo y conformación de los procesos de educación y trabajo en las cárceles. Un estudio de caso en Santiago del Estero". XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires. Asociación Latinoamericana de Sociología, Buenos Aires.
- Rodríguez Alzueta, Esteban (2012). "Circuitos carcelarios: el encarcelamiento masivo-selectivo, preventivo y rotativo en la Argentina". *Revista Question*. 1 (36), pp. 81 – 96.
- Rodríguez-Magariños, Faustino Gudín (2008). *La administración de justicia digitalizada. Una necesidad inaplazable*. Barcelona: Experiencia.
- Rossi, María Cecilia (2006). "Consideraciones en torno a la construcción de la frontera del río Salado del Norte en Santiago del Estero". *Anuario del Instituto de Historia Argentina*. (6), pp.147-175. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Instituto de Historia Argentina "Dr. Ricardo Levene".
- Rossi, María Cecilia (2016). "Santiago del Estero. Los Jesuitas y las Reducciones Fronterizas. Notas Primeras". Claves para Comprender la Historia, Horizonte Bicentenario 2010 – 2016. *Revista Digital sobre Historia de Santiago del Estero*. 6 (48).

- Salvatore, Ricardo y Aguirre, Carlos (2017). "Revisitando el nacimiento de la penitenciaría en América Latina veinte años después". *Revista de Historia de las Prisiones*. (4), pp. 7 – 42.
- Speckman Guerra, Elisa (2002). *Crimen y Castigo. Legislación penal, interpretaciones de la criminalidad y administración de justicia* (Ciudad de México, 1872-1910). México: El Colegio de México, Centro de Estudios Históricos de la UNAM.
- Tenti, María Mercedes (1997) "Historia de Santiago del Estero: desde los orígenes hasta fines del siglo XIX". ISBN 9504381472.

# LAS COMPETENCIAS EN EL PROCESO DE FORMACIÓN DE LOS ESTUDIANTES DEL PROFESORADO EN MATEMÁTICA DE LA FCEYT USANDO GEOGEBRA

NORI ESTHER CHEEÍN DE AUAT<sup>1</sup>; MARÍA MERCEDES SIMONETTI<sup>2</sup>;  
YRIS BETTIANA RAFAEL<sup>3</sup>; GRABIELA LORENA ROBLES<sup>4</sup>;  
LIDIA CRISTINA DE PABLO<sup>5</sup>; VIVIANA DEL CARMEN LEDDA<sup>6</sup>;  
ALEJANDRA BEATRIZ LIMA<sup>7</sup>

## Resumen

El proyecto “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT

- 1 Directora del Proyecto: “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT usando GeoGebra”. Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE.
- 2 Codirectora del proyecto. Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE..
- 3 Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE..
- 4 Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE..
- 5 Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE..
- 6 Licenciada en Matemática. FCEyT-UNSE.
- 7 Ingeniera Electromecánica. FCEyT-UNSE..

usando GeoGebra”, Código 23/C145, surge de la necesidad de transformar las prácticas docentes en distintas asignaturas del Profesorado en Matemática (PM) que ofrece la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

El gran desafío que se plantea es la capacitación previa de los futuros docentes mediante estrategias de enseñanza que, con la incorporación de los recursos que brindan las TIC, les permitan reflexionar y razonar sobre los nuevos conocimientos.

No se puede considerar al proceso de enseñanza como una simple transmisión de contenidos si se pretende que el aprendizaje en los estudiantes sea significativo, es decir, aquel que les permita conectar las ideas y esquemas que ya poseen con los nuevos contenidos que se presentan.

En la práctica docente es necesario que los profesores estén actualizados y conozcan las necesidades de los estudiantes, ya que el mejoramiento de los ambientes de aprendizaje depende en gran medida de la transformación de las prácticas de enseñanza asociadas, entre otros factores, a docentes con conocimiento de qué, de cómo y para qué enseñan.

En este contexto, y teniendo en cuenta que la hipótesis de investigación sostiene que el desarrollo de competencias en el proceso de formación de los estudiantes del PM, usando GeoGebra, favorecerá la adquisición de habilidades y capacidades para el mundo laboral, se implementan nuevas estrategias que permiten lograr una mejor asimilación de los conceptos y dar un mayor sentido a la matemática en los estudiantes.

La aplicación de software educativos facilita la comprensión de conceptos específicos, la visualización de las aplicaciones, la discusión de la solución a problemas y su aplicabilidad, todo esto de manera que propicie el intercambio de experiencias que enriquecen y mejoran la calidad de la enseñanza.

Palabras clave: Competencias; Capacidades y Habilidades;

Tecnologías de la Información y Comunicación; Aprendizaje Significativo; GeoGebra

## Abstract

The project "The Competences in the Training Process of FCEyT Teacher's Students in Mathematics, using GeoGebra", Code: 23 / C145, part of the need to transform the teaching practices in different subjects of the Mathematics Teacher (PM) offered by the Faculty of Exact Sciences and Technologies (FCEyT) of the National University of Santiago del Estero (UNSE).

The great challenge that arises is the prior training of future teachers through teaching strategies that, with the incorporation of the resources provided by ICT, allow them to reflect and reason about the new knowledge.

The teaching process cannot be considered as a simple transmission of content if it is intended that the learning in students is significant, that is, to be able to connect the ideas and schemes they already have with the new content that is presented.

In teaching practice, it is necessary for teachers to be up-to-date and know the needs of students, since the improvement of learning environments depends largely on the transformation of teaching practices associated, among other factors, with teachers with knowledge of what, how and why they teach for.

In this context, and taking into account that the research hypothesis holds that the development of competencies in the training process of PM students, using GeoGebra, will favor the acquisition of skills and abilities for the world of work, new strategies are implemented that allow to achieve a better assimilation of concepts and give a greater meaning to mathematics in students. The application of educational software

facilitates the understanding of specific concepts, promoting the exchange of experiences that enrich and improve the quality of teaching; view the applications; discuss problem solving and applicability.

Keywords: Competencies; Capabilities and Skills; Information and communication technologies; Significant learning; Geo-Gebra

## Introducción

Los cambios continuos científicos, tecnológicos, sociales y culturales de los últimos años, debido en parte a la incorporación de las Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), han posibilitado la aparición de nuevos procesos de aprendizaje y modos de transmisión del conocimiento, creando así otros contextos educativos.

Las herramientas tecnológicas con las que se cuenta actualmente pueden ser un apoyo fundamental, pues permiten que la enseñanza sea más dinámica e interesante para los estudiantes y logran que estos le encuentren sentido a su formación. Esto redundará en el desarrollo y fortalecimiento de sus competencias como futuros profesionales, actualizando y profundizando sus conocimientos, creciendo en lo personal y mejorando su desempeño.

En nuestra experiencia como docentes en asignaturas de matemática en el PM, hemos notado que los estudiantes tienen habilidades procedimentales cuando se trata de manipular ecuaciones o fórmulas, pero poseen serias dificultades en cuanto a la visualización, argumentación o interpretación de ciertos resultados. Esto se debe principalmente a que no han

adquirido de forma adecuada los conceptos y se les dificulta su manejo, lo cual puede ser un indicador de que el aprendizaje de los estudiantes no es significativo.

El uso de las TIC y el empleo de estrategias apropiadas permitirá que los estudiantes desarrollen, entre otras, competencias relacionadas con la utilización de los recursos y de las herramientas informáticas adecuadas a los conocimientos matemáticos, de manera que la integración de los mismos contribuya a que los aprendizajes propuestos sean significativos. Pero, ¿qué competencias queremos lograr en nuestros estudiantes?

El concepto de competencia es el pilar del desarrollo curricular y el incentivo tras el proceso de cambio; es, según la definición dada por el Consejo Federal de Cultura y Educación de Argentina, "un conjunto identificable y evaluable de conocimientos, actitudes, valores y habilidades relacionados entre sí que permiten desempeños satisfactorios en situaciones reales de trabajo, según estándares utilizados en el área ocupacional" (Consejo Federal de Cultura y Educación de Argentina, 2004).

En otras palabras, las competencias que se pretenden desarrollar en los estudiantes presentan como fortalezas la integración de conocimientos, habilidades y actitudes, que les permitan comprender el mundo e influir en él, además de capacitarlos para continuar aprendiendo de forma autónoma y para desarrollar relaciones armónicas con quienes les rodean y participar eficazmente en su desempeño social, profesional y político a lo largo de la vida.

Por tanto, el aprendizaje por competencias no es una mera tecnología educativa orientada al desempeño inmediato de habilidades, sino que contempla la educación integral del estudiante, pues aborda tanto los conocimientos teóricos como las habilidades o conocimientos prácticos o aplicativos así como las actitudes o compromisos personales, que van del "saber" y "saber hacer" al "saber ser o estar", "saber conocer" y



“saber comunicar”.

La matemática tiene competencias específicas llamadas competencias matemáticas; estas están íntimamente relacionadas con el punto de vista funcional de esta ciencia. “Poseer competencia matemática significa: poseer habilidad para comprender, juzgar, hacer y usar las matemáticas en una variedad de contextos intra y extramatemáticos y situaciones en las que las matemáticas juegan o pueden tener un protagonismo” (Niss, 1999).

Las docentes de las asignaturas Geometría Analítica, Análisis Matemático I, II, III y IV, Álgebra y Ecuaciones Diferenciales involucradas en el Proyecto “Las competencias en el proceso de formación de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT usando GeoGebra”, Código 23/C145, con fecha de iniciación 01/01/2018 y fecha de finalización prevista para el 31/12/2021, notamos la necesidad de utilizar recursos tecnológicos y desarrollar aplicaciones didácticas que logren convertir la información en conocimiento, de tal manera que los estudiantes puedan acceder a una multiplicidad de recursos y crear entornos virtuales que permitan representar, experimentar y razonar conceptos matemáticos ofreciendo nuevas y mejores metodologías de aprendizaje. Esto permitirá que los alumnos adquieran conocimientos de manera dinámica y visual, aprendan de forma significativa los conceptos que se involucran, brindando la oportunidad para que los mismos comparen situaciones reales con situaciones ideales descritas por los modelos matemáticos, lo que favorece la construcción conceptual y el desarrollo de niveles más altos de abstracción y generalización, logrando de esta manera los objetivos deseados.

A partir de esta problemática se trabajó con la siguiente hipótesis de investigación: El desarrollo de competencias en el proceso de formación de los estudiantes del PM de la FCEyT, usando GeoGebra, favorecerá la adquisición de habilidades y

capacidades para el mundo laboral.

### **Estado del conocimiento general en el tema**

El comienzo del siglo XXI ha sido testigo de una explosión de cambios tecnológicos que han revolucionado varios ámbitos, entre ellos el educativo, lo que llevó a transformar, entre otros, los paradigmas de la educación matemática. Así se plantean los siguientes interrogantes: ¿Qué matemática enseñar? ¿Cómo enseñarla? ¿Cómo hacer uso de las TIC en su enseñanza?

El nuevo modelo educativo a desarrollar requiere ser organizado e implementado con base en el concepto de competencias, entendiéndolo como la combinación de destrezas, conocimientos, aptitudes y actitudes, y a la inclusión de la disposición para aprender además del saber cómo, posibilitándose que el estudiante pueda generar un capital cultural o desarrollo personal, un capital social que incluye la participación ciudadana, y un capital humano o capacidad para ser productivo (Dirección General de Educación y Cultura de la Comisión Europea, 2004).

La educación matemática en este último tiempo ha sido objeto de varias investigaciones, como lo señala Patricia Camarena Gallardo en su trabajo de investigación, quien reflexiona acerca de la vinculación de la matemática con las demás áreas del conocimiento, su relación con las situaciones de la vida cotidiana y su articulación con las actividades laborales y profesionales, que busca una matemática para la vida y para beneficio de la sociedad; apoya el desarrollo del ser humano mediante el incremento de la creatividad, la capacidad de ser crítico y analítico, de construir un pensamiento científico y desarrollar la ética profesional. (2021)

Se necesita formar estudiantes competentes matemáticamente, que tengan "la capacidad individual para identificar y comprender el papel que desempeña la matemática en el mundo, emitir juicios bien fundados, utilizar las matemáticas,

comprometerse con ellas y satisfacer las necesidades de la vida personal como ciudadano constructivo, comprometido y reflexivo” (OECD, 2004: 3; OECD, 2003: 24).

Es aquí donde las TIC juegan un papel importante dentro de este proceso ya que les permiten, a los estudiantes, ser agentes activos de su aprendizaje. Las TIC tienen una influencia cada vez mayor en la forma de comunicarse, en el aprendizaje y en la vida. El avance que han adquirido se presenta en diversos ámbitos: laboral, educativo, cultural y social.

En la actividad diaria de un docente se puede observar cómo las ventajas que ofrecen las TIC como recurso educativo no están siendo aprovechadas de manera eficiente. Por este motivo, son diversas las investigaciones en este ámbito que pretenden hacer un aporte para ofrecer una mayor información sobre cómo aprovechar de forma óptima estos recursos. En particular, con el uso del software, desde la creación del programa, varias investigaciones se han llevado a cabo en diversas áreas de la matemática, en distintos niveles educativos. Entre estas, Coronado y otros (2014) mencionan que el uso de GeoGebra aporta a los procesos de enseñanza y aprendizaje en la comprensión de los conceptos matemáticos en estudiantes del nivel universitario. De igual manera, Cotic (2014) manifiesta que el uso de GeoGebra con las metodologías adecuadas propicia al aprendizaje de la Geometría. Del mismo modo, Gamboa (2007) señala que el uso de las tecnologías en la enseñanza de la matemática sirve de apoyo siempre que sea acompañado por el docente. Por su parte, Camargo (2014) presenta como resultado de su trabajo con relación al uso de GeoGebra en la enseñanza de la Geometría Analítica que con la buena elección de recursos y actividades, y con el acompañamiento del docente como mediador del aprendizaje, es posible la comprensión de nuevos conceptos de la Geometría analítica y la retroalimentación de propiedades ya estudiadas en la Geometría plana. El gran desafío consiste en utilizar efi-

cazmente estas tecnologías para que estén al servicio de los intereses del conjunto de los estudiantes y de toda la comunidad educativa.

El uso de las TIC, en el campo educativo, proporciona a los docentes y estudiantes herramientas mediadoras en todas las áreas del saber, dado que genera nuevas formas de trabajo y recursos educativos innovadores en los procesos de enseñanza y aprendizaje.

Avanzar hacia la calidad de la educación implica coordinar acciones en la formación de los estudiantes para desarrollar o fortalecer sus competencias profesionales, actualizar y profundizar sus conocimientos, crecer en lo personal y mejorar su desempeño. Se requiere una formación que le permita cualificar sus futuras prácticas pedagógicas al tiempo que se desarrolla como persona y como profesional, respondiendo a las expectativas, necesidades y demandas de la sociedad.

La necesidad de una educación de calidad y de hacer un uso reflexivo de las TIC a favor de los procesos de enseñanza y aprendizaje plantean desafíos y reestructuraciones a la educación debido al impacto y demanda que las mismas generan en la manera como la sociedad se organiza, trabaja, se relaciona y aprende. Uno de los desafíos que plantean dichas condiciones se relacionan con el replanteamiento con las funciones de la enseñanza y de los profesionales que la ejecutan.

Es importante asumir este reto bajo la perspectiva de la formación profesional docente, en torno al desarrollo de habilidades que serían indispensables y necesarias para los desafíos que demanda el siglo XXI. Dichas habilidades se relacionan directamente con la vocación docente, su dimensión pedagógica y didáctica, que se hace evidente en el desarrollo de los procesos de enseñanza y aprendizaje, en general, y que a partir de la incorporación de las TIC en la educación parecería recuperar la fuerza que había perdido (Larrosa, 2010), haciéndose indispensable en el perfil de un docente del siglo actual.

## Metodología de la Investigación

Se da inicio al proyecto a partir del objetivo general: "Investigar, analizar y desarrollar competencias que enriquezcan los conocimientos de los estudiantes del Profesorado en Matemática con el uso del software educativo GeoGebra"; y de los objetivos específicos planteados, que se enumeran a continuación:

a) Desarrollar las competencias desde un enfoque constructivista en las prácticas pedagógicas de asignaturas del Profesorado en Matemática de la FCEYT usando GeoGebra.

b) Implementar estrategias didácticas con la aplicación de entornos virtuales que permitan representar, experimentar y razonar conceptos matemáticos ofreciendo nuevas y mejores metodologías de aprendizaje.

c) Generar oportunidades para que los estudiantes comparen situaciones reales con situaciones ideales descritas por los modelos matemáticos, favoreciendo la construcción conceptual y el desarrollo de niveles más altos de abstracción y generalización.

d) Diseñar e implementar estrategias didácticas mediante el dictado de talleres en laboratorios informáticos donde los alumnos del Profesorado en Matemática utilicen el software GeoGebra para resolver situaciones problemáticas en las distintas asignaturas involucradas en el proyecto.

e) Evaluar el impacto de la propuesta en los procesos de enseñanza y aprendizaje en las asignaturas involucradas en esta investigación

f) Socializar con otras áreas de formación docente y profesional, a través de la divulgación de los avances y resultados vinculados a esta investigación

g) Publicar los avances y resultados obtenidos en revistas acreditadas de educación y tecnología

Las actividades propuestas para el logro de a), b), c), d) y g) en el año 2018 y para a), b), c), d), e) y g) en el año 2019 fueron alcanzadas, en su totalidad, según el cronograma establecido para su cumplimiento, como se muestra en Tabla 1 y Tabla 2, respectivamente:

Actividades	Año primero	
	1er semestre	2do semestre
Construcción del marco teórico y metodológico a partir de la búsqueda de información bibliográfica pertinente.	x	x
Revisión de las experiencias realizadas en relación con las competencias y el uso de GeoGebra.	x	x
Formación de recursos humanos.	x	x
Participación en congresos, jornadas y otras actividades de difusión científica.		x

**Tabla 1.** Actividades año 2018. Fuente propia

Actividades	Año segundo	
	3er semestre	4to semestre
Construcción del marco teórico y metodológico a partir de la búsqueda de información bibliográfica pertinente	x	
Revisión de las experiencias realizadas en relación con las competencias y el uso de GeoGebra	x	
Selección de métodos y técnicas a emplear en la investigación	x	
Elaboración de los instrumentos para la recolección de datos	x	
Prueba de los instrumentos elegidos		x
Trabajo de campo		x
Recolección y registros de datos		x
Elaboración de informes parciales		x
Formación de recursos humanos	x	x
Participación y dictado de cursos, conferencias, seminarios		x
Participación en congresos, jornadas y otras actividades de difusión científica	x	x

**Tabla 2.** Actividades año 2019. Fuente propia

Durante el año 2020, protagonizamos un tiempo donde nos vimos obligados a cambiar las actividades presenciales de enseñanza, aprendizaje, evaluación, investigación, así como participación en cursos, jornadas, conferencias, seminarios y congresos entre otros, por las virtuales, debido a la pandemia mundial de covid-19.

Esto nos llevó a replantear las actividades propuestas en nuestro Proyecto de Investigación para el logro de los objetivos a), b), c), d), e), f) y g), como se muestra en Tabla 3.

Actividades	Año tercero	
	5to semestre	6to semestre
Trabajo de campo	x	x
Recolección y Registros de datos	x	x
Análisis e interpretación de los datos	x	x
Formación de recursos humanos	x	x
Participación y dictado de cursos, conferencias, seminarios		x
Participación en congresos, jornadas y otras actividades de difusión científica	x	x

**Tabla 3.** Actividades año 2020. Fuente propia

Se prevé para el 2021, realizar las siguientes actividades presenciales o virtuales (sincrónicas o asincrónicas) para cum-



plimentar los objetivos propuestos c), d), e), f) y g).

Actividades	Año cuarto	
	7to semestre	8to semestre
Análisis e interpretación de los datos	x	
Formación de recursos humanos	x	x
Participación en congresos, jornadas y otras actividades de difusión científica	x	x
Elaboración del informe final		x

Tabla 4. Actividades año 2021. Fuente propia

La metodología utilizada en esta investigación educativa es de carácter exploratorio–descriptiva con la intencionalidad de recoger información vigente acerca del desarrollo de competencias y uso del software GeoGebra, y su incidencia en los procesos de enseñanza y aprendizaje en la formación docente. Además, incluye acciones tendientes al análisis crítico y positivo vinculado con el mejoramiento del perfil profesional del profesor en Matemática.

A fin de profundizar acerca de la comprensión del tema, se procedió a realizar encuestas de opinión/evaluación a estudiantes y profesores que den respuesta a nuestra hipótesis de investigación, y que nos permitan evidenciar resultados en cuanto a si los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática mejoran con el empleo del software GeoGebra y de la manera en que esos procesos lo hacen. El análisis se centró en

las siguientes dimensiones específicas de los procesos de enseñanza y aprendizaje: a) el nivel de comprensión de los conceptos; b) la capacidad de resolución de problemas de manera gráfica y analítica; y c) los niveles de motivación de los estudiantes. En este sentido, el análisis abarcó las siguientes cuatro dimensiones: dimensión 1: con relación al uso de GeoGebra; dimensión 2: con relación a la comprensión de conceptos; dimensión 3: con respecto a la capacidad de resolver problemas; y dimensión 4: con relación a los niveles de motivación.

También se realizaron entrevistas a docentes investigadores y graduados, para la reflexión crítica de los resultados y conocimientos obtenidos y las actividades efectuadas, a través de un juicio de valor con relación a los logros y/o dificultades que se han presentado.

Esta investigación educativa se desarrolló en varias etapas, las cuales se detallan a continuación:

a) Exploratoria y descriptiva. Construcción colaborativa del proyecto de investigación, resignificación del problema, de sus objetivos y alcances.

b) Trabajo de campo y aplicación de la experiencia.

c) Evaluación de las experiencias en terreno y del impacto institucional.

d) Socialización de avances de la producción de conocimiento que legitimen nuevas prácticas en el marco de las significaciones de las TIC en la formación docente.

Si bien, a los fines operativos, se enuncian las etapas y se desagregan las actividades principales, cabe destacar que fueron apareciendo otras como producto de la situación especial que vivimos desde el año 2020 y del propio desarrollo de la investigación exploratorio–descriptiva que se realiza.

## Resultados obtenidos y transferencias al medio

El objetivo general del trabajo de investigación fue analizar los efectos de la aplicación del software GeoGebra en los procesos de enseñanza y aprendizaje de la matemática en la carrera del profesorado y, para su estudio, se ha procedido a hacer un análisis en las siguientes dimensiones específicas: el nivel de comprensión de los conceptos y la capacidad de resolución de problemas de manera gráfica y analítica; y los niveles de motivación de los estudiantes.

Con base en esto, se presentan algunas recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con este tema: a) analizar el uso de GeoGebra en la enseñanza y aprendizaje de las otras unidades dentro de la misma asignatura; b) realizar un estudio de las asignaturas correlativas para ver si los estudiantes que han utilizado GeoGebra tienen mejor desempeño; c) estudiar la posibilidad de emplear dicho software en los procesos de enseñanza y aprendizaje de otras asignaturas que requieran la representación geométrica, tales como Estadística, Análisis Matemático en una y varias variables, entre otras.

La implementación del Proyecto propició el desarrollo de competencias de los estudiantes del Profesorado en Matemática de la FCEyT, usando GeoGebra durante su formación, lo que dio como resultado una favorable adquisición de habilidades y capacidades para el mundo laboral.

Estas competencias se vieron fortalecidas con la participación activa de los integrantes del Proyecto en el Programa de Posgrado "La Matemática en la Formación de Ingenieros Competentes" que ofrecen en forma conjunta la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la Universidad Nacional de Santiago del Estero y la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones, cuya modalidad es a distancia, mediada por un Entorno Virtual de Enseñanza Aprendizaje (EVEA). El objetivo de este programa es contribuir al perfeccionamiento

to de los docentes de matemática de carreras de ingeniería y de ciencias exactas y naturales para transformar sus prácticas docentes orientándolas a un modelo de Formación por Competencias y el Aprendizaje Centrado en el Estudiante. Está estructurado en cuatro cursos:

- Curso 1: "Formación por Competencias en Matemática"
- Curso 2: "La mediación Pedagógica en la Enseñanza de la Matemática"
- Curso 3: "La Evaluación de las Competencias Matemáticas"
- Curso 4: "Cinco Nuevas Competencias del Docente de Matemática"

Con respecto a esto, se lograron las siguientes actividades en las cuales los docentes integrantes del Proyecto más dos becarios de Ciencias y Técnica de la UNSE, que se incorporaron a él durante los años 2019 y 2020, transfirieron los resultados y conocimientos obtenidos al medio, a través de cursos, talleres, jornadas, seminarios y congresos, entre otros.

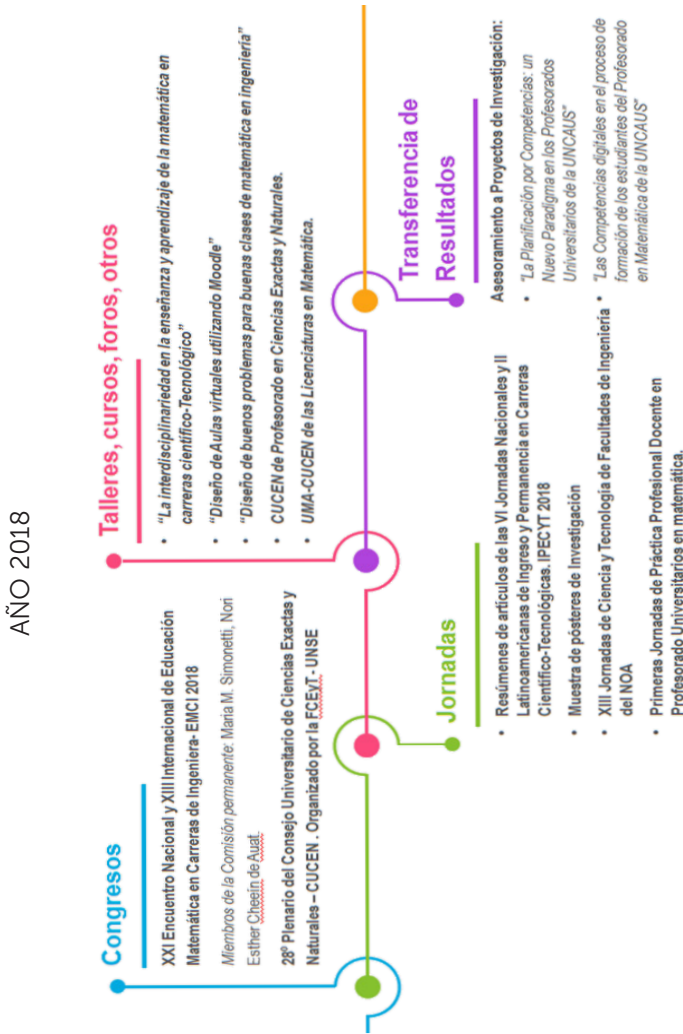


Figura 1. Actividades realizadas en el primer año de ejecución.  
Fuente propia.

## AÑO 2019

### Congresos

- "Encuentro Regional de la Unión Matemática Argentina"  
– ERUMA 2019, organizado por FCEyT – UNSE. Moderadores:  
Gabriela Robles y Lidia C. de Pablo.

Evaluadora de Trabajos presentados: Nori Esther Cheeín de Auat. Expositores: Natalia Y. Bravo y Matías Espíndola Coronel.

- "XLII Reunión de Educación Matemática en el Segundo Encuentro de la Unión Matemática Argentina y la Sociedad Matemática de Chile" – SUMA 2019.

Autores: Gabriela Robles, Matías Espíndola Coronel y Natalia Y. Bravo. Expositora: Natalia Y. Bravo.

### Reuniones

- "8° Seminario Internacional de Educación a Distancia"  
Red Universitaria de Educación a Distancia Argentina – UNJu.  
Asistentes y Expositores: Nori Esther Cheeín de Auat y María Mercedes Simonetti de Velázquez.

### Jornadas

- Actividades de Investigación – Consejo de Investigaciones Científicas y tecnológicas de la UNSE. Expositores: Natalia Y. Bravo y Matías Espíndola Coronel.

### Talleres, cursos, foros y otros encuentros

- "Los problemas de ayer, hoy y mañana, ¿tienen solución sin matemática?".

- "¿Cómo transformar nuestras prácticas docentes orientándolas a un Modelo de Formación por Competencias y al Aprendizaje Centrado en el Estudiante?".

- "Taller para Organización de Proyectos de Investigación".

- V Encuentro del Foro de Profesorados Universitarios de

Ciencias Exactas y Naturales.

- 30<sup>º</sup> Reunión Plenaria CUCEN.
- Jornada sobre Experiencias de Educación a Distancia y Tecnología Educativa en el ámbito universitario.
- XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de la Facultades de Ingeniería del NOA.
- Evaluación de trabajos.

Otros Antecedentes

Se puede mencionar a "Laboratorio MECEK" creado a fines del año 2019 con el objetivo de mejorar los procesos de enseñanza y evolución institucional, mediante la incorporación de propuestas pedagógicas actualizadas y soluciones de alto valor agregado a las diversas problemáticas de la enseñanza en las carreras de educación superior; este está bajo la dirección de Víctor Andrés Kowalski, perteneciente a la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Misiones.

En él se capacita a los formadores de profesionales y se brinda asesoramiento destinado a instituciones y/o carreras que tengan como objetivo orientar y adecuar los planes de estudios a un modelo de formación por competencias basado en el aprendizaje centrado en el estudiante. En este programa participa como investigadora integrante permanente en representación de la FCEyT – UNSE la directora del presente proyecto de investigación.

Otro programa que cabe resaltar es LOGROS – Línea EMA, el cual fue creado por la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU); en él se realiza el abordaje de dos líneas de acción dirigidas a mejorar y fortalecer la formación. Ellas son: leer y escribir en la formación universitaria (Línea EPA) y las TIC en la enseñanza de la matemática (Línea EMA). Esta última tiene por objeto desarrollar y fortalecer las competencias de pensamiento

lógico-formal y matemático de los estudiantes del sistema de educación superior, en virtud del estrecho vínculo que estas capacidades mantienen con el desarrollo científico-tecnológico. En este programa participa en la línea EPA y EMA la Secretaría Académica de la UNSE. En la evaluación de proyectos EMA, representando al NOA, es integrante la directora del presente proyecto de investigación.

### Transferencia de Resultados

Los resultados del presente proyecto de investigación contemplan la ejecución de las actividades que se enumeran a continuación:

- Asesoramiento a Proyectos de Investigación.
- Participación en el dictado de Cursos de Posgrado: "Formación por Competencias en Matemática", "La mediación Pedagógica en la Enseñanza de la Matemática", "La Evaluación de las Competencias Matemáticas", "La Matemática en la Formación de Ingenieros Competentes"-
- Evaluación de Proyectos de Investigación.
- Evaluación de Artículos para publicaciones en revistas indexadas



AÑO 2020

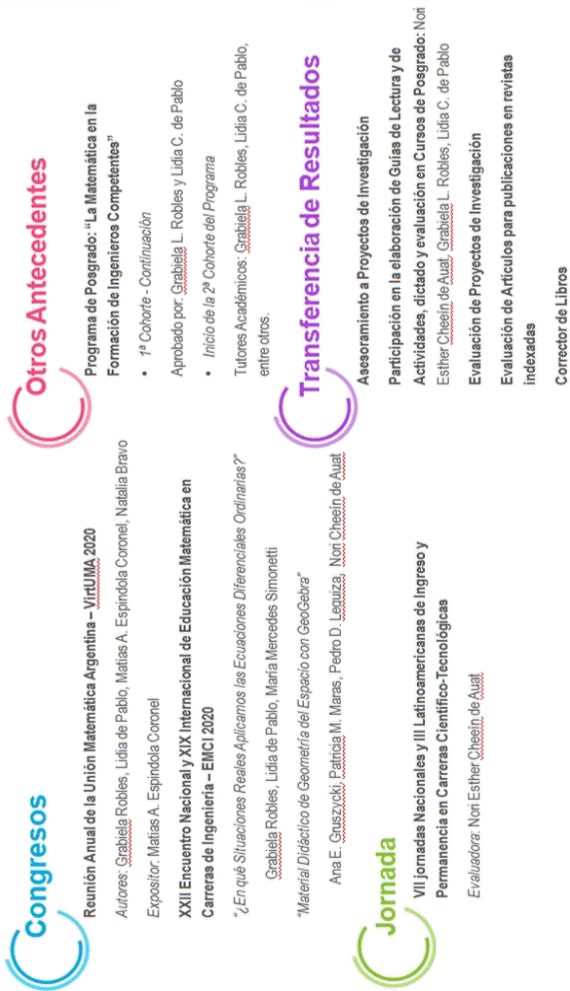


Figura 2. Actividades realizadas en el tercer año de ejecución.  
Fuente propia.

Los resultados de la investigación fueron y están siendo presentados en diversas reuniones científicas locales, regionales, nacionales e internacionales de manera presencial o virtual; además, son publicados en revistas y capítulo de libros, entre otros, dedicados a la divulgación sobre educación y tecnología.

Los logros progresivos del proceso de construcción cooperativa de innovación educativa a partir del desarrollo de competencias, la incorporación de las TIC y el uso del software GeoGebra en los procesos de enseñanza y aprendizaje en asignaturas del Profesorado en Matemática de la FCEyT de la UNSE, son compartidos con integrantes de redes regionales y nacionales como base de conocimiento y asistencia técnica para generar líneas de acción tendientes a lograr la formulación de propuestas de mejoramiento de la calidad de la educación superior.

Se tiende a la transferencia inmediata a instituciones de los distintos niveles del sistema educativo, mediante talleres, cursos de formación docente y de perfeccionamiento.

Se espera que cada vez sea mayor el número de cátedras que incorporen en los diferentes espacios curriculares herramientas informáticas que propicien la implementación de las TIC en la comunidad universitaria.

Nuestro trabajo a futuro es ir mejorando esta propuesta y posteriormente implementarla para otras asignaturas.

## Reflexiones Finales

El aprendizaje de la matemática necesita de espacios de debate, reflexión y colaboración para garantizar su asimilación. Asimismo, su enseñanza requiere de procesos de revisión y actualización para contemplar las nuevas demandas de la sociedad del conocimiento. Como docentes formadores de futuros profesionales de la educación, y en especial, educadores

de una ciencia tan discutida y cuestionada por la población destinataria, en cuanto a sus beneficios y bondades, debemos inculcar y fortalecer las competencias a desarrollar en el estudio de esta ciencia

GeoGebra, al igual que muchos otros software utilizados en matemática, es una herramienta educativa que permite a los docentes generar estrategias didácticas a través de las cuales se pueda lograr la motivación del estudiante mediante la reproducción de modelos matemáticos o interpretaciones gráficas de ecuaciones y fórmulas.

En este sentido, en nuestra investigación se planteó como hipótesis que el desarrollo de competencias en el proceso de formación de los estudiantes del PM de la FCEyT, usando GeoGebra, favorecerá la adquisición de habilidades y capacidades para el mundo laboral.

Los docentes integrantes del Proyecto trabajamos bajo esa hipótesis generando condiciones de aprendizaje adecuadas para que los estudiantes, además de la apropiación de los contenidos de la asignatura, adquieran capacidades en el empleo de la herramienta educativa GeoGebra.

Por ello, es importante el diseño adecuado de las actividades académicas y las estrategias metodológicas para que las metas de aprendizaje sean alcanzadas por los estudiantes y se logren los objetivos de enseñanza propuestos.

En cada una de nuestras asignaturas, a lo largo de estos años, pudimos dar respuesta a la hipótesis de trabajo, concluyendo que se construyen mejores aprendizajes, cuando se emplean herramientas educativas, como el software GeoGebra en el dictado de las clases, ya que el estudiante asimila los conocimientos, lo cual favorece el aprendizaje significativo para el desarrollo de competencias y la adquisición de habilidades y capacidades para su desenvolvimiento en el mundo laboral y profesional.

Es nuestra responsabilidad como docentes trabajar para

garantizar la calidad de la educación en nuestra Institución. Esto implica el trabajo conjunto, coordinado y planificado que permita llevar adelante acciones en la formación de los estudiantes, y que la misma sea de calidad, de manera que les permita desarrollarse como persona y como profesional.

Las TIC plantean desafíos a la sociedad en general y a la educación en particular, que representan un gran reto para la formación profesional pues implica una reestructuración de qué, cómo y para qué se enseña.

La educación de calidad debe dar respuesta a la demanda y al impacto que las TIC producen en la sociedad, ya que las mismas cambiaron la forma en que esta se relaciona. Siendo conscientes de esto, nuestro desafío es utilizar las mismas a favor de los procesos de enseñanza y aprendizaje y, así, preparar a los futuros profesionales con las habilidades que son indispensables y necesarias para los desafíos que demanda el siglo XXI, desarrollar o fortalecer sus competencias específicas, actualizar y profundizar sus conocimientos, crecer en lo personal y mejorar su desempeño.

## Bibliografía

- Barberá, Elena; Mauri, Teresa y Onrubia, Javier (2008). *Cómo valorar la calidad de la enseñanza basada en las TIC*. Barcelona: Graó.
- Camarena Gallardo, Patricia (2014). "La matemática social en el desarrollo integral del alumno". *Innovación Educativa [en línea]*. 14(65), pp. 143-149.
- Comisión Europea. Dirección general de Educación y Cultura. (2004). *Hacia un enfoque de la educación en competencias. Un marco de referencia europeo*. [www.educastur.princast.es/info/calidad/.../comision\\_europea.pdf](http://www.educastur.princast.es/info/calidad/.../comision_europea.pdf)
- Comisión Europea. Dirección general de Educación y Cultura. (2004). *Competencias clave para un aprendizaje a lo largo de la vida. Un marco de referencia europeo*. [www.educastur.princast.es/info/calidad/.../comision\\_europea.pdf](http://www.educastur.princast.es/info/calidad/.../comision_europea.pdf)
- Coronado, Carlos, Casadei, Luisa, Barrios, Iris Slayer. (2014). "GeoGebra para el aprendizaje de la Matemática Inicial Universitaria. Conocimiento Libre y Educación". V Congreso en Línea – 2014. Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado. Venezuela. [http://www.academia.edu/10284125/GeoGebra\\_para\\_el\\_Aprendizaje\\_de\\_la\\_Matem %C3%A1tica\\_Inicial\\_Universitaria](http://www.academia.edu/10284125/GeoGebra_para_el_Aprendizaje_de_la_Matem%C3%A1tica_Inicial_Universitaria)
- Cotic, Norma Susana (1999). "GeoGebra como puente para aprender matemática". Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación.
- García López, María del Mar (2011). Evolución de actitudes y Competencias Matemáticas en estudiantes de secundaria al introducir GeoGebra en el aula. Tesis doctoral. Departamento de Didáctica de la Matemática y de las Ciencias Experimentales Facultad de Ciencias de la Educación Universidad de Almería. <http://funes.uniandes.edu.co/1768/2/Garcia2011Evolucion.pdf>
- Gamboa, Ronny. (2007). "Uso de la tecnología en la enseñanza de las Matemáticas". *Cuadernos de Investigación y formación en Educación Matemática*. 2 (3), pp. 11-44. [file:///E:/](http://file:///E:/)

[PC-01/Downloads/6890-Texto%20del%20art%C3%ADculo-9474-1-10-20130124.pdf](#)

Kozak, Débora. (2004). "Innovación pedagógica en la Educación Superior y nuevas tecnologías: entre hacer "más de lo mismo" o innovar de verdad". En: Barsky,

Larrosa, Faustino (2010). "Vocación docente versus profesión docente en las organizaciones educativas". *Revista Electrónica Interuniversitaria de Formación del Profesorado*. 13(4), pp.43-51.

Niss, Mogens (1999). *Mathematical competencies and the learning of mathematics: The Danish KOM Project*.

<http://www.math.chalmers.se/Math/Grundutb/CTH/mve375/1112/docs/KOMkompetenser.pdf>

OECD (2004). *Learning for tomorrow's world: First Results from PISA 2003*. París: OECD

OECD (2006). *Assessing scientific, reading and mathematical literacy: a framework from OECD (2007). PISA 2006. Science competence for tomorrow's world*. París: OECD

## ENSEÑAR CIENCIAS, DESARROLLAR COMPETENCIAS

JOSÉ GALIANO<sup>1</sup>; ANDREA ACOSTA<sup>2</sup>; PAOLA BUSTAMANTE<sup>3</sup>;  
EVANGELINA GONZÁLEZ<sup>4</sup>; GONZALO MARTÍNEZ<sup>5</sup>;  
GABRIELA MAGUNA<sup>6</sup>; GABRIEL GUTIÉRREZ<sup>7</sup>

### Resumen

El aprendizaje centrado en el estudiante, desde el enfoque por competencias, configura un nuevo modelo educativo en carreras científico-tecnológicas. En Argentina, uno de los mayores impulsores de este modelo es el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI), cuyas recomendaciones

1 Director del Proyecto. Doctor en Educación (UNED-España). Instituto de Investigación y Estudios en Enseñanza de las Ciencias, IIEEC, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, FAyA, Universidad Nacional de Santiago del Estero, UNSE.

2 Doctora en Ciencias (UNED-España). IIEEC-FAyA, UNSE.

3 Máster Universitario en Ciencia y Tecnología Química (UNED-España). IIEEC-FAyA, UNSE.

4 Doctora en Ciencia y Tecnología de los Alimentos (UNSE). IIEEC-FAyA. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

5 Especialista Médico (UNC). IIEEC-FAyA. Facultad de Ciencias Médicas, UNSE.

6 Licenciada en Gestión Educativa (UNSE). IIEEC-FAyA, UNSE.

7 Licenciado en Administración (UNSE). IIEEC-FAyA, UNSE.

también resultan viables para otras carreras, como se presenta en este trabajo en yuxtaposición con propuestas para la enseñanza de las ciencias desde el abordaje de estrategias de enseñanza y aprendizaje. En este sentido, este trabajo, que se desarrolla dentro del proyecto de investigación de "Enseñanza de las Ciencias para el Desarrollo de Competencias" en el Instituto de Investigación y Estudios en Enseñanza de las Ciencias de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, tiene como objetivo general analizar en estudiantes de carreras científico-tecnológicas el desarrollo de competencias desde este modelo mediante la determinación del desarrollo de competencias fundamentales; una de ellas es la resolución de problemas, que es una de las más solicitadas actualmente en todos los ámbitos laborales. Por otra parte, se evaluará la conveniencia de la aplicación de diferentes estrategias de enseñanza y aprendizaje para contenidos específicos de la carrera de medicina que coadyuven al desarrollo de esas competencias fundamentales.

A partir de estas cuestiones se analiza, mediante instrumentos diseñados para tal fin, el desarrollo de competencia de diferentes dimensiones en estudiantes cursantes de la asignatura Química Analítica, de las carreras de Ingeniería en Alimentos, Licenciatura en Química y Profesorado en Química, así como la valoración de diferentes estrategias de enseñanza y aprendizaje en la asignatura Anatomía Normal de la carrera de Medicina; ambos análisis se realizaron en las cohortes 2018 – 2019, cuyos resultados coinciden en la viabilidad de este modelo educativo.

Palabras clave: competencias; enseñanza y aprendizaje; estrategias; ciencias



## Abstract

Student-centered learning from the competency approach configures a new educational model in scientific-technological careers. In Argentina, one of the main drivers of this model is the Federal Council of Deans of Engineering (CONFEDI) whose recommendations are also viable for other careers, as presented in this work together with proposals for the teaching of science from the focusing of teaching and learning strategies. In this sense, this work is developed within the research project of "Teaching of Sciences for the Development of Competences" at the Institute of Research and Studies in Teaching of Sciences of the Faculty of Agronomy and Agroindustries of the National University of Santiago del Estero, has as a general objective, analyze in students of scientific-technological careers, the development of competences from this model through determining growth of fundamental competencies, in this case solving problems because it is one of the most requested currently in all work areas and, on the other hand, the evaluation of the appropriateness of applying different teaching and learning strategies for specific contents of the medical career that contribute to the development of this fundamental competence.

From these questions it is analyzed the development of competence of different dimensions in students who take the Analytical Chemistry subject, of the Food Engineering careers, Bachelor's Degree in Chemistry and the Teaching Staff in Chemistry and the assessment of different teaching and learning strategies in the Normal Anatomy subject of the Medicine career, both in the 2018 - 2019 cohorts, whose results coincide in the viability of this educational model.

Keywords: competences, teaching and learning; strategies; sciences

## Desarrollo

El término competencias no es nuevo. En los años setenta era utilizado en el ámbito laboral para referirse a las habilidades necesarias para desempeñar una tarea; en los años ochenta se incorpora al ámbito educativo; recién en los años noventa empieza a ser aplicado en diferentes programas y niveles educativos como enfoque por competencias. En nuestros días, ese enfoque da lugar a un nuevo modelo educativo cuyo centro es el estudiante; de ahí la denominación para este modelo de educación basada en competencias (EBC) en "aprendizaje centrado en el estudiante" (ACE).

Primera cuestión, ¿por qué aprendizaje y no enseñanza? Fenstermacher (1979) considera que el concepto "enseñanza" depende necesariamente del concepto "aprendizaje", donde la relación no es causal; en otras palabras, es un error pensar que sin enseñanza no hay aprendizaje. Y lo ejemplifica con "correr una carrera" y "ganar". Una persona puede correr una carrera y no ganarla, pero no se puede decir que no corrió. Hay una dependencia ontológica entre correr una carrera y ganarla porque la persona que corre desea ganar, pero no es causal, pues no significa que si corre necesariamente va a ganar. Por lo tanto, el modelo planteado hace referencia al "aprendizaje" centrado en el estudiante.

Segunda cuestión: la enseñanza de las ciencias (en adelante EdC). Andoni Garritz (2010) sostiene que los cambios acelerados en la sociedad actual conllevan inexorablemente a una necesidad de modernización de la educación y, en este contexto, analiza los paradigmas de la EdC en este siglo. Primero considera la afectividad, atendiendo a la enseñanza cargada de sentimientos y las relaciones afectivas entre los practicantes de la EdC y los profesores con su profesión, destacando la necesidad de investigación en este campo. Luego, expone las analogías como subconjunto de los modelos, "ya que el

razonamiento analógico es la comparación de estructuras o funciones entre un campo bien conocido (la fuente o el análogo) y un dominio de conocimiento nuevo o parcialmente nuevo (el objetivo)". (Garritz, 2010)., caracterizadas por ser estimulantes y motivadoras, y que constituyen una de las estrategias de mayor uso, por ejemplo, en la enseñanza de la química (Galiano, 2015).

Entre otros paradigmas, Andoni Garritz introduce la argumentación y su necesaria incorporación desde los primeros años de escolaridad, y cita a De la Chaussée:

Argumentar es una operación mental que consiste en buscar y presentar datos y pruebas para fundamentar, demostrar y hacer creíble algo (conocimientos, problemas, resultados, hechos, fenómenos, contradicciones...). Argumentamos para demostrar o debatir mediante el ofrecimiento de pruebas y razonamientos lo más completos y estructurados posible para mostrar o convencer de algo. (Garritz, 2010, p. 317)

En los aspectos sociocientíficos (ASC), Garritz destaca la incorporación de la dimensión ciencia-tecnología-sociedad (CTS) en esta corriente desde la importancia de la alfabetización científica que se reconoce al contemplar la toma de decisiones informada, la capacidad de analizar, sintetizar y evaluar información, vinculados con el razonamiento moral y los aspectos éticos, que conlleva a los estudiantes a la complejidad de las preguntas que se formula en estos aspectos.

En el mencionado trabajo, Garritz destaca el paradigma denominado ciencia y tecnología de frontera, en el que los contenidos disciplinarios seguirán ocupando un lugar primordial en la EdC y resultan prioritarios en el "dominio" del profesor. Vinculados a conocimientos de frontera, se puede mencionar a los siguientes: adelgazamiento de la capa de ozono, alimen-

tos genéticamente modificados, calentamiento global, cosmos, energías renovables, enfermedad de Alzheimer, genética, nanociencia y nanotecnología y origen de la vida.

A continuación, menciona el paradigma relacionado a las competencias, destaca la diferencia entre la adjetivación de este concepto para "competente" y "competitivo"; esto se hizo con base en el estudio de la evaluación PISA 2006 sobre la capacidad de reconocer preguntas o temas susceptibles de ser investigados científicamente, identificar términos clave para la búsqueda de información científica, así como los rasgos característicos de la investigación de corte científico.

Como ayuda para los alumnos para responder de la manera más autónoma posible sus preguntas dirigidas a los aspectos esenciales de algún tema, menciona el paradigma del conocimiento didáctico de contenido (CDC), que incluye, para los tópicos más frecuentemente enseñados en el área temática del profesor, las analogías, metáforas, ejemplos, símiles, demostraciones, simulaciones, manipulaciones, o similares, como las formas más efectivas para comunicar los entendimientos o las actitudes de este tópico a estudiantes con antecedentes particulares. Además, destaca las investigaciones publicadas en este campo.

El *paradigma de la incertidumbre*, dominante en el panorama científico -quizá hasta premonitorio de Garritz-, sostiene la idea de la imprevisibilidad del futuro en los hechos que ocurren en la naturaleza, fundamentado desde la postura de Popper, citado también por Garritz:

La ciencia no es un sistema de aseveraciones ciertas que avanza uniformemente hacia un estado de irrevocabilidad. Nuestra ciencia no es conocimiento (epistēmē): nunca se puede declarar que se ha obtenido la verdad ... La exigencia de objetividad científica hace inevitable que cada aseveración deba ser provisional por siempre.

Nosotros no sabemos, solo podemos suponer. (2010, p. 320).

Para dar respuesta a cómo propone para el *paradigma de la mediación pedagógica y didáctica*, la indagación, estrategia por excelencia para la EdC en general y de la química en particular (Galiano, 2015), y que se define desde los *National Science Education Standards de Estados Unidos* (NRC, 1996), Garritz agrega:

Una actividad polifacética que implica hacer observaciones; plantear preguntas; examinar libros y otras fuentes de información para ver qué es lo ya conocido; planificar investigaciones; revisar lo conocido hoy en día a la luz de las pruebas experimentales; utilizar instrumentos para reunir, analizar e interpretar datos; proponer respuestas, explicaciones y predicciones; y comunicar los resultados. (2010, p. 320).

En esos mismos estándares de la educación científica de Estados Unidos se cita los modelos, en otro paradigma de Garritz, como esquemas tentativos o estructuras que corresponden a objetos, eventos o tipos de sucesos que tienen un poder explicativo. Los modelos pueden tomar muchas formas, incluyendo objetos físicos, planes, construcciones mentales, ecuaciones matemáticas y simulaciones computacionales (NRC, 1996, p.117), los que resultan en otra de las estrategias preponderantes para la EdC en general, y de mayor uso particularmente en las clases de química. Se define como:

Una representación simplificada de un objeto, un evento, un proceso o una idea producida con el propósito específico de dar una explicación de esa entidad. El modelaje –el proceso continuo y dinámico de crear, probar y comunicar modelos– es una habilidad central para la indagación científica. (Garritz, 2010, p. 321)

Otro paradigma para la EdC en este siglo mencionado en este trabajo resulta en la naturaleza de la ciencia:

Actualmente existe, en la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias naturales, consenso unánime acerca de que la alfabetización científico-tecnológica involucra, además de saber ciencias –y en forma no menos importante, saber sobre las ciencias–, qué son y cómo se elaboran, qué características las diferencian de otras producciones y emprendimientos humanos, cómo cambian en el tiempo, cómo influyen y son influenciadas por la sociedad y la cultura. Este conocimiento se ha dado en llamar naturaleza de la ciencia (NdC, en adelante). (Garritz, 2010, p. 321)

Y sobre ello destaca la carencia de este aspecto en los libros de texto tradicionales y los aportes que puede proporcionar la historia, filosofía y sociología de la ciencia:

Humanizar las ciencias y acercarlas más a los intereses personales, éticos, culturales y políticos; hacer las clases más estimulantes y reflexivas, incrementando así las capacidades del pensamiento crítico; contribuir a una comprensión mayor de los contenidos científicos; contribuir un poco a superar el ‘mar de sinsentidos’ de las clases de ciencias, donde se recitaban fórmulas y ecuaciones, pero donde pocos conocían su significado; y mejorar la formación del profesorado contribuyendo al desarrollo de una epistemología de la ciencia más rica y más auténtica, esto es, a un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia y su lugar en el marco intelectual de las cosas. (Garritz, 2010, p. 321)

Luego introduce un penúltimo y no menos particular paradigma, el del riesgo, considerado como la posibilidad de un efecto adverso o daño físico, psicológico, social o ambiental para la salud o los bienes como consecuencia de una decisión tomada, por nosotros o por otros, frente a un agente o peligro físi-

co, químico, biológico, psicológico o social. Por lo que resulta imprescindible incluir en la educación la noción de riesgo, ya que: "Para todo tipo de riesgo que afecte intereses colectivos de un sector de la sociedad o de la naturaleza, es éticamente indispensable la participación pública en el proceso que va de la identificación a la gestión del riesgo" (Garritz, 2010, p. 322). El último, y no por ello menos actual, paradigma propuesto por Garritz para la EdC en este siglo es el de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC):

En los últimos años se ha constatado un auge en el uso de los materiales hipermedia en la enseñanza de la ciencia, llegándose a asignar a estos materiales el papel de catalizadores de un cambio en la docencia ya que pueden suplir carencias de los libros de texto en cuanto a interactividad, dinamismo y tridimensionalidad. (Garritz, 2010, p. 322)

La llamada "generación net" y la disponibilidad de la información a un clic de distancia ha promulgado una nueva manera de acceso a los "saberes conocer" y nuevas estrategias de aprendizaje por parte de los alumnos que prefieren buscar por sí mismos la información, contrastarla, localizar otras fuentes, mientras elaboran mapas o visualizaciones del contenido; es decir, de este modo, participan activamente en la construcción de su conocimiento, a su propio ritmo y con su estilo personal.

Tercera cuestión: competencias. Autores de relevancia en el área (Tobón et al., 2010) sostienen esta idea manifestando:

Históricamente, las competencias han surgido en la educación como una alternativa para abordar las falencias de los modelos y enfoques pedagógicos tradicionales, como el conductismo, el cognoscitivismo y el constructivismo, aunque se apoyen en algunos de sus planteamientos teóricos y metodológicos; no obstan-

te, esto lo hacen con una nueva perspectiva, con un cambio en la lógica, transitando de la lógica de los contenidos a la lógica de la acción. (Tobón et al., 2010, p. 3)

En Argentina, uno de los mayores impulsores de este modelo ACE, desde el enfoque por competencias, es el Consejo Federal de Decanos de Ingeniería (CONFEDI) que, si bien se ha abocado a implementarlo en estas carreras en los nuevos diseños curriculares y en los estándares de acreditación, la propuesta resulta viable para otras carreras, como se propone en este trabajo.

El CONFEDI (2018, p. ) presenta la Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina, cuyo capítulo 1 expresa lo siguiente:

[...] partiendo del camino recorrido por las carreras de ingeniería en cuanto al aseguramiento de la calidad, y con miras a la definición de un nuevo estándar nacional para el tercer ciclo de acreditación obligatoria, se realiza esta propuesta, fundamentada en los siguientes objetivos:

- Actualizar y consolidar el actual Modelo de Formación de Ingenieros.
- Consolidar un modelo de ACE.
- Definir un Modelo comparable internacionalmente.
- Definir un enfoque basado en competencias y descriptores de conocimiento.
- Asegurar el cumplimiento de las actividades reservadas definidas para cada título.
- Organizar la Estructura Curricular en base a:
  - Ciencias Básicas de la Ingeniería
  - Tecnologías Básicas
  - Tecnologías Aplicadas
  - Ciencias y Tecnologías Complementarias



Existen importantes antecedentes para conceptualizar este polisémico término, como el proyecto ALFA, que considera a las competencias como la “combinación dinámica de atributos, en relación a procedimientos, habilidades, actitudes y responsabilidades que describen los encargados del aprendizaje de un programa educativo o lo que los alumnos son capaces de demostrar al final de un proceso educativo” (Tuning, 2007, p. 37). Asimismo, las clasifica en competencias genéricas y específicas. Las de tipo genérico son las habilidades transferibles y transversales, comunes a todas las profesiones, que incluyen elementos de orden cognitivo y motivacional, y que se presentan en tres tipos posibles:

a) competencias instrumentales, de orden metodológico o de procedimiento (capacidad de análisis y síntesis, de organización de la información, etc.),

b) competencias personales, tales como la capacidad para trabajo en equipo, relaciones interpersonales, etc., y

c) competencias sistémicas, que combinan comprensión, sensibilidad y conocimiento (creatividad, liderazgo, adaptación a nuevas situaciones, aprendizaje autónomo, etc.).

Las competencias específicas, por su parte, son propias de disciplinas o campos de conocimiento determinados y relativas a una profesión establecida.

El CONFEDI (2014) señala que las competencias aluden a capacidades complejas e integradas, que están relacionadas con saberes en sus diferentes dimensiones, que se vinculan con el saber hacer y están referidas al contexto y al desempeño profesional; además, permiten incorporar la ética y los valores, estableciendo, de esta manera, una nueva metodología de enseñanza, en las carreras de ingeniería en particular, pero perfectamente viable en otras; estas competencias se conceptualizan como: “la capacidad de articular eficazmente un conjunto de esquemas (estructuras mentales) y valores,

permitiendo movilizar (poner a disposición) distintos saberes, en un determinado contexto con el fin de resolver situaciones profesionales”(CONFEDI, 2014, p. 16). Este paradigma se aplica plenamente en el marco de la enseñanza de las ciencias naturales y experimentales en carreras científicas-tecnológicas.

Este organismo establece como primer criterio para la clasificación de competencias los tipos competencias de ingreso y competencias de egreso. Las primeras son consideradas como referencia para los ingresantes a una carrera y las segundas son aquellas que debe desarrollar el estudiante al completar todas las actividades enmarcadas en su plan de estudios.

A su vez, las competencias de ingreso se clasifican en básicas y específicas. Las primeras aluden a conocimientos, procedimientos, destrezas y actitudes fundamentales para el desarrollo de otros aprendizajes, por ejemplo, comprender y/o interpretar un texto, elaborar síntesis, capacidad oral y escrita de transferirlo, producir textos e interpretar y resolver situaciones problemáticas. Las específicas corresponden a los saberes específicos en una determinada ciencia o disciplina, necesarios para permitir el desempeño satisfactorio en el estudio de la carrera, dependiendo de la familia y terminal de la carrera a la que el alumno aspire a ingresar. Y, por último, las competencias de ingreso transversales aluden a la capacidad de los estudiantes para regular sus propios aprendizajes, aprender solos y en grupo y resolver las dificultades a que se ven enfrentados durante el transcurso del proceso de aprendizaje. Se aplican tanto a las competencias básicas como a las específicas y se orientan hacia el logro de autonomía en el aprendizaje y destrezas cognitivas generales.

Las competencias de egreso se dividen en competencias específicas (CE), competencias genéricas (CG) y competencias asociadas al alcance del título (CAA).

Las CE son las competencias profesionales comunes a los profesionales de una misma terminal (ingenieros para el ejem-

plo de CONFEDI). En cuanto a las CG, estas están vinculadas a las competencias profesionales comunes a todos los egresados de esas carreras (ingenieros en el ejemplo). Las CAA son definidas, o están sujetas a definición, por cada institución.

A su vez, las CG se subdividen en competencias tecnológicas y competencias sociales, políticas y actitudinales. Los ejemplos, para el caso de carreras de ingeniería, se presentan a continuación (CONFEDI, 2017, p. 10):

#### Competencias Tecnológicas

- 1) Identificar, formular y resolver problemas de ingeniería.
- 2) Concebir, diseñar y desarrollar proyectos de ingeniería.
- 3) Gestionar, planificar, ejecutar y controlar proyectos de ingeniería.
- 4) Utilizar de manera efectiva las técnicas y herramientas de aplicación en la ingeniería.
- 5) Contribuir a la generación de desarrollos tecnológicos y/o innovaciones.

#### Competencias Sociales Políticas y Actitudinales

- 6) Desempeñarse de manera efectiva en equipos de trabajo.
- 7) Comunicarse con efectividad.
- 8) Actuar con ética, responsabilidad profesional y compromiso social, considerando el impacto económico, social y ambiental de su actividad en el contexto local y global.
- 9) Aprender en forma continua y autónoma.
- 10) Actuar con espíritu emprendedor.

Si se consideran la vinculación de las competencias y el mundo laboral, el informe Randstad (2016) sobre la flexibilidad laboral y el empleo, elaborado por esta empresa de recursos humanos en colaboración con las Universidades de Lovaina y Utrecht,

considera que los trabajadores formados en STEM<sup>8</sup> son los que alcanzarán un mayor porcentaje de empleo, pero que existe un desequilibrio entre lo que necesita la empresa y lo que ofrece el mercado de trabajo. Al mismo tiempo que se necesitan más estudiantes dispuestos a estudiar carreras científicas, se detecta la necesidad de que todos los trabajadores adquieran unas competencias transversales básicas. Randstad concreta las 10 competencias clave que ha de poseer cualquier trabajador:

1. Resolución de problemas complejos
2. Pensamiento crítico
3. Creatividad
4. Gestión de personal
5. Coordinación con otros
6. Inteligencia emocional
7. Juicio y toma de decisiones
8. Orientación al servicio
9. Negociación
10. Flexibilidad cognitiva

Por otro lado, resultan preponderantes los trabajos de Weinmaier y col. (2006, 2007 y 2008). En el primero de ellos, se analizan las competencias a promover en graduados universitarios de carreras científico-tecnológicas de la Universidad Nacional de Quilmes que, partiendo de la clasificación de competencias del proyecto Tuning antes mencionado y otros autores (Bunge, 2000; Pitt, 2000; Salinas, 1994; Salinas, 1998; citados en Weinamaier y col., 2006), distinguen competencias

8 Acrónimo de los términos en inglés Science, Technology, Engineering and Mathematics (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas).

fundamentales (CF) a promover en sus estudiantes desde la visión de los docentes y las capacidades que las sustentan como indica la Tabla 1:

Competencias Fundamentales	Capacidades a promover en los estudiantes
Organización y toma de decisiones (O)	Establecer prioridades frente a una actividad, programar el tiempo en el desarrollo de actividades, disponer adecuadamente de los recursos, identificar alternativas para la toma de decisiones
Destrezas manuales (M)	Conocer y manejar adecuadamente material e instrumental de laboratorio, utilizar técnicas elementales y aplicar normas de seguridad.
Procedimientos y actitudes investigativas (I)	Observar, identificar o reconocer un problema, identificar variables significativas y practicar el modelado, formular hipótesis, seleccionar y diseñar pruebas adecuadas para contrastación de hipótesis, utilizar estrategias básicas para la resolución de problemas, analizar datos cuali y cuantitativamente, establecer asociaciones entre la información disponible (datos, hechos y conceptos), mostrar una actitud crítica, razonar deductiva e inductivamente, evaluar y generar ideas, hipótesis y resultados, mostrar una actitud inquisitiva

Comprensión conceptual (C)	Diferenciar e integrar conceptos y leyes, transferir los mismos a la resolución de situaciones problemáticas, comprender el significado que encierran las expresiones matemáticas, comprender el rol de los modelos y del modelado.
Actitudes Sociales (S)	Trabajar en equipo, evitar conflictos interpersonales, ejercer el liderazgo, motivar a otros, adaptarse a los cambios, asumir responsabilidades sociales.
Gestión de la información (G)	Emplear el lenguaje específico de las disciplinas, buscar, seleccionar, organizar e interpretar información, así como comunicar la información en forma oral y escrita.

Tabla 1. Competencias Fundamentales desde la visión docente

Este trabajo establece, entre las diez capacidades más valoradas para los encuestados, las referidas de la resolución de problemas vinculadas a la dimensión de procedimientos y actitudes investigativas (I) en su propuesta de CF. Como indica la Tabla 2.

Capacidad	Importancia	Dimensión
Identificar o reconocer un problema	91,3 %	I
Interpretar información	84,8 %	G
Establecer asociaciones entre la información disponible	78,3 %	I
Transferir conceptos y leyes a la resolución de problemas	73,9 %	C
Mostrar una actitud crítica	73,9 %	I

Aplicar normas de seguridad en el laboratorio	71,7 %	M
Observar	69,6 %	I
Trabajar en equipo	69,6 %	S
Seleccionar y diseñar pruebas adecuadas para contrastación de hipótesis	65,2 %	I
Razonar deductiva e inductivamente	63,0 %	I

Tabla 2. Valoración de capacidades

Por lo tanto, la comparación de los antecedentes mencionados destaca la resolución de problemas como la competencia por excelencia que debe promoverse en los estudiantes y su contribución al desarrollo de otras competencias básicas como el trabajo en equipo, la creatividad, el análisis o el liderazgo.

Para Tobón (2013), la resolución de problemas desde un enfoque de competencias requiere cuatro acciones:

- a) Comprender el problema en un contexto disciplinar, personal, ambiental, social y/o económico.
- b) Establecer varias estrategias de solución, en las cuales se tenga en cuenta lo imprevisto y la incertidumbre.
- c) Considerar las consecuencias del problema y los efectos de la solución dentro del conjunto del sistema.
- d) Aprender del problema para asumir y resolver problemas similares en el futuro.

Además, indica que para su logro se demanda la utilización contextual de estrategias. En otras palabras, los problemas son situaciones nuevas que requieren que los individuos respondan con comportamientos nuevos; resolver un problema implica realizar tareas que demandan procesos de razonamientos más

o menos complejos y no simplemente una actividad asociativa y rutinaria. Así se define esta competencia: reconocer, describir, organizar y analizar los elementos constitutivos de un problema para idear estrategias que permitan obtener, de forma razonada, una solución contrastada y acorde a ciertos criterios preestablecidos.

Cuarta cuestión: las estrategias. Aplicado al ámbito educativo, el término estrategias se entiende como “todos los actos, actividades, procesos o procedimientos planificados intencionalmente por el docente cuyo propósito es la construcción de aprendizajes significativos en los estudiantes” (Galiano, 2015).

Las estrategias pueden ser clasificadas:

- a) Según el propósito educativo en:
  - estrategias tendentes a lograr conocimientos,
  - a lograr comprensión,
  - a lograr actitudes,
  - a lograr habilidades o,
  - a generar capacidad de pensamiento, raciocinio productivo, creativo y crítico.
- b) Generalmente hay coincidencia en tres grandes grupos de estrategias:
  - cognitivas,
  - metacognitivas y,
  - de manejo de recursos.

Ya sea que estas hagan referencia a la integración del nuevo material con el conocimiento previo, hagan referencia a la planificación, el control y la evaluación por parte de los estudiantes de sus propios conocimientos o constituyan una serie de estrategias de apoyo que incluyen diferentes tipos de recursos que contribuyan a que la resolución de la tarea lleve a buen término.

Con respecto a las líneas de trabajo para el aprendizaje significativo, Díaz Barriga y Hernández (2010) indican dos líneas



principales: la aproximación impuesta, que consiste en realizar modificaciones o arreglos en el contenido o estructura del material de aprendizaje; y la aproximación inducida, que se aboca a entrenar a los aprendices en el manejo directo y por sí mismos de procedimientos que les permitan aprender con éxito de manera autónoma.

En el caso de la aproximación impuesta, las «ayudas» que se proporcionan al aprendiz pretenden facilitar intencionalmente un procesamiento más profundo de la información nueva y son planeadas por el docente, el planificador, el diseñador de materiales o el programador de software educativo, por lo que constituyen estrategias de enseñanza.

De este modo, podríamos definir a las *estrategias de enseñanza* como los procedimientos o recursos utilizados por el agente de enseñanza para promover aprendizajes significativos.

Por su parte, la aproximación inducida comprende una serie de «ayudas» internalizadas en el lector; este decide cuándo y por qué aplicarlas y constituyen *estrategias de aprendizaje* que el individuo posee y emplea para aprender, recordar y usar la información.

Ambos tipos de estrategias, de enseñanza y de aprendizaje, se encuentran involucradas en la promoción de aprendizajes significativos a partir de los contenidos escolares, aun cuando en el primer caso el énfasis se pone en el diseño, programación, elaboración y realización de los contenidos a aprender por vía oral o escrita (lo cual es tarea de un diseñador o de un docente) y en el segundo caso la responsabilidad recae en el aprendiz.

En este marco, se ha formulado y se ejecuta el proyecto de investigación Enseñanza de las Ciencias para el Desarrollo de Competencias, aprobado por el Consejo de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CICYT) de la UNSE con categoría A que se lleva a cabo en el IIEEC-FAyA.

Un recorte del mismo se plasma en este trabajo, cuyo objetivo general propone analizar el desarrollo de competencias desde el modelo ACE en estudiantes de carreras científico-tectudientes cursantes de la asignatura Química Analítica (QA) de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias (FAyA). Valorar la utilización de diferentes estrategias de enseñanza y aprendizaje en la asignatura Anatomía Normal de la carrera de Medicina para el desarrollo de CF.

## Metodología

Esta se definió en varias etapas. Las previas a este trabajo fueron la búsqueda bibliográfica y el diagnóstico de situación, mediante encuentros con equipos de cátedra, reuniones con equipos de gestión curricular y talleres con docentes.

Se seleccionan dos grupos de estudiantes de acuerdo con los objetivos planteados: 1) estudiantes de la FAyA de las carreras Licenciatura en Química (LQ), Profesorado en Química (PQ) e Ingeniería en Alimentos (IA); y 2) estudiantes de la Facultad de Ciencias Médicas (FCM), con su única carrera Medicina.

Para el Grupo 1 se realizó un estudio experimental tipo pre-test y postest (Tabla 3) para determinar el desarrollo de competencias fundamentales en el cursado de una asignatura. Para la recolección de datos se realizó el diseño de instrumentos de recolección de información de tipo encuesta en formato cuestionario con escala de actitudes tipo Likert de resolución individual y posterior sesión de análisis grupal. La evaluación por parte del docente se realiza mediante rúbrica.

Para el Grupo 2 se realizó el diseño de instrumentos de recolección de información de tipo encuesta en formato cuestionario con escala de actitudes tipo Likert de resolución individual.

Para la operacionalización, entendida como proceso fundamental en la construcción del instrumento que consiste

en traducir las dimensiones en elementos medibles, se adapta el proceso sugerido por Hernández Sampieri *et al.* (2010), entre otros trabajos para la construcción de instrumentos de medición.

Para el grupo 1 se rediseña el instrumento a partir de tres dimensiones para los resultados de aprendizaje: dimensión de conocimiento, dimensión de aplicación y dimensión de integración, que se consideran para los niveles de dominio de la competencia y los correspondientes descriptores que sirven de base para la construcción de la rúbrica de evaluación docente a partir de los indicadores de logro establecidos.

Con base a la competencia seleccionada, para el método de resolución de problemas se unifican los criterios clásicos de cuatro pasos (Polya, 1965; Echenique, 2006):

Comprensión del Problema: entender el texto y la situación a la que se refiere.

1 - Planificación o configuración de un plan. Se abordan cuestiones tales como ¿para qué sirven los datos que aparecen?, ¿qué puede calcularse a partir de ellos y en qué orden?

2 - Ejecución del plan: puesta en práctica de cada uno de los pasos diseñados en la planificación.

3 - Valoración de la respuesta y del proceso seguido: evaluación de la solución obtenida, reflexión sobre posibles vías alternativas, análisis de las dificultades durante el proceso.

A partir de los saberes básicos y estructurantes (Galiano y Bustamante, 2017), aportados en asignaturas antecorrelativas, se determina el nivel de complejidad del problema para la etapa de pretest, mientras que la complejidad del problema postest se determina luego del cursado de la asignatura QA.

Durante el dictado de la asignatura, se propone desarrollar en los alumnos una actitud mental mediante la aplicación de procedimientos estructurados de resolución de problemas que promuevan su capacidad de aprender, comprender y aplicar conocimientos de forma autónoma a través de una meto-

dología activa, "aprender haciendo", que considere resultados y análisis en mismo nivel de importancia que el procedimiento de resolución. La apropiación sistemática y secuenciada de los pasos de resolución propuestos configuran esta actitud.

Se valora el trabajo grupal, cooperativo y colaborativo, pero también el desempeño individual para el desarrollo de la competencia buscada.

Para la aplicación de esta estrategia, el diseño y la selección de la situación problemática es fundamental y debe diferenciarse claramente de una resolución de ejercicios, que se desarrolla en otras instancias.

Cada paso del procedimiento de resolución de problemas establecido conlleva un determinado número de reactivos en el cuestionario. Fase 1: seis; fase 2: seis, fase 3: tres; fase 4: cinco. Este número de reactivos van desde preguntas del tipo si hay suficiente información para resolver el problema, a similitudes con otros problemas resueltos anteriormente, y también preguntas hacia la comprobación de cada paso o del resultado, y propuestas de otros procedimientos.

En función de la prueba piloto y de etapas anteriores a esta investigación, se analiza un rediseño operacional con las siguientes finalidades: probar la fiabilidad del cuestionario; comprobar si la población de estudiantes seleccionados comprende los diferentes reactivos planteados; determinar el tiempo que demanda la resolución del cuestionario; posibilidad de acotar a formato cerrado las preguntas abiertas a partir de los estudios previos de aplicación del cuestionario; verificar interés y motivación de los estudiantes en resolver la encuesta; corroborar la compatibilidad formulación de reactivos con objetivos a medir.

Para la instancia de validación del instrumento, es decir, el grado en que un instrumento de medida mide aquello que realmente pretende medir o sirve para el propósito para el que ha sido construido, se opta por la calidez de contenido mediante

jueces que se refiere a si el cuestionario elaborado, y por tanto los ítems elegidos, son indicadores de lo que se pretende medir. Para ello se somete el cuestionario a la valoración de tres investigadores expertos, de cátedras paralelas de otras Unidades Académicas (dos de Facultad de Ciencias Forestales, FCF; uno de Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, FCEyT), a fin de mantener la relación contextual de la población a investigar. A partir de ello, se realizaron los procesos de cambio indicados para la obtención de la segunda versión del cuestionario. También se valora la rúbrica de evaluación docente.

Para la prueba de fiabilidad del instrumento, se realiza un análisis de consistencia interna de los ítems a través del cálculo de los coeficientes de alfa de Cronbach mediante software SPSS y asistencia mediante planilla MS Office Excel 2016.

Hernández Sampieri *et al.* (2010) establecen los siguientes rangos para los valores de confiabilidad de un instrumento:

- De -1 a 0: no es confiable
- De 0.01 a 0.49: baja
- De 0.5 a 0.75: moderada
- De 0.76 a 0.89: fuerte
- De 0.90 a 1: alta

La prueba de confiabilidad de este instrumento arroja un valor de 0.679 cuya confiabilidad es moderada.

Escala: 1 No lo sé/ No lo comprendo a 5: Hasta lo puedo explicar a un compañero					
FASE	1	2	3	4	5
1. Compresión: lee el enunciado y registra					
¿Entiendes la totalidad de lo planteado en el problema?					

¿Puedes describir el problema con tus propias palabras?					
¿Distingues datos, incógnitas y condiciones que se han de cumplir?					
¿El problema presenta suficiente información para resolverlo?					
¿Realizas un dibujo o esquema del problema?					
¿Describir las variables del problema con la notación correspondiente?					
2. Planificación del proceso de resolución					
¿Este problema es similar a algún otro que hayas resuelto antes?					
Si no puedes resolver el problema planteado, ¿has tratado de recordar una similar o más fácil, etc.?					
¿Puedes resolver alguna parte del problema?					
¿Utilizado estrategia de ensayo y error, es decir, supones el problema resuelto y pruebas la solución propuesta?					
¿Has modificado o desmenuzado el problema en partes más sencillas?					
¿Has usado otras técnicas como el análisis dimensional, buscar un contraejemplo, la reducción al absurdo, etc.?					
3. Ejecución del plan: cuando has aplicado el plan de resolución del problema:					
¿Comprobaste cada paso?					

¿Identificas claramente que los pasos son correctos?					
¿Puedes demostrar que los pasos son correctos?					
Valoración de la solución y el procedimiento					
¿Puedes comprobar el resultado?, ¿es razonable?, ¿responde a las condiciones establecidas en el problema?					
¿Consideras que puede haber una solución más sencilla?					
¿Puedes comprobar que tu procedimiento es correcto?					
¿En qué se puede mejorar tu procedimiento?					
¿Se puedes aplicar tu solución a otros casos más general?					

Tabla 3. Cuestionario pretest/postest

Para el segundo objetivo de estudiantes del grupo 2, se considera que las formas de abordaje de estudio de anatomía humana seleccionadas en el contexto de aplicación establecen: libros de texto, apuntes, presentación multimedia (MS Office PowerPoint 2016), maquetas, atlas, simuladores 3D, dibujar y pintar y sala de disección. Para la presente investigación se propuso evaluar el uso de las estrategias de simulación en contrastación con otras, para lo cual se definieron los siguientes “saberes conocer”: aparato cardíaco; aparato circulatorio; aparato digestivo I: boca-faringe-esófago-estómago-peritoneo; aparato digestivo II: intestino delgado, intestino grueso, glándulas anexas; aparato respiratorio y aparato urinario.

Para el diseño del instrumento de recolección de informa-

ción, se mantuvo el proceso y referencia bibliográfica que el utilizado para el grupo 1 de estudiantes.

Se construyó una encuesta de ocho reactivos, con escala tipo Likert: excelente, muy buena, buena, mala. Irrelevante, algo relevante, pertinente, muy relevante, fundamental. El orden de prioridad fue de 1° a 5° y se aplicó durante el desarrollo de cada uno de los saberes seleccionados.

Para la instancia de validación del instrumento, se optó por validez de contenidos por jueces expertos. Se sometió el cuestionario a la valoración de cuatro docentes investigadores expertos, de cátedra de ciclo superior de la misma FCM, pares de misma cátedra y dos docentes externos extranjeros (uno de UCM Madrid, España y uno de UR, Logroño, España), atendiendo a la formación de los expertos tanto en educación médica como en investigación disciplinar con formación de posgrado.

La prueba piloto se realizó en una de las doce comisiones que conforman la organización del dictado de la asignatura. Los estudiantes prestaron conformidad expresa y voluntaria de participación.

Para la fiabilidad del instrumento, se siguió el enfoque del análisis de consistencia interna de los ítems a través del cálculo de los coeficientes de alfa de Cronbach. Se utiliza el procesamiento en software MS Office Excel 2016 y estadístico SPSS. El valor de confiabilidad es de 0.850, el cual se considera de fuerte confiabilidad según la escala mencionada y los autores antes citados.

La población y muestra seleccionada no probabilística intencional en este trabajo consistió en las siguientes divisiones:

Grupo 1: estudiantes de las cohortes 2018 y 2019 que cursan QA como única unidad curricular de esta área formativa disciplinar, para las carreras de PQ e IA y Química Analítica I, primera parte del área de formación disciplinar en QA, para la carrera de LQ, todas de la FAyA. La distribución por cohorte y estadio de estudio experimental resultó:



Cohorte 2018:

- pretest: 32 estudiantes (15 de IA, 9 de LQ y 8 de PQ).
- postest: 34 estudiantes (17 de IA, 9 de LQ y 8 de PQ).

Cohorte 2019:

- pretest: 19 estudiantes (12 de IA, 6 de LQ y 1 de PQ).
- postest: 12 estudiantes (8 de IA, 4 de LQ y ninguno de PQ).

Grupo 2: cohortes 2018 y 2019 de Anatomía Normal de la carrera de Medicina de la FCM. En ambas cohortes, la muestra consiste en tres (3) comisiones de diez (10) estudiantes cada una, seleccionadas al azar por el administrador de la prueba, docente investigador de ese grupo.

En ambos grupos se informó y gestionó autorización ante los docentes de las cátedras involucradas y se informó del procedimiento y se administró la encuesta luego de la conformidad manifiesta de los alumnos.

Estudiantes de Grupo 1: para ambas cohortes la administración del instrumento es individual, presencial con registro en formato escrito. El pretest se administró antes del cursado, luego de la presentación del equipo docente y planificación de la asignatura; el postest se resolvió una vez finalizado el cursado y las evaluaciones parciales. No resultó necesaria la instancia de profundización mediante entrevista en ninguno de los casos.

Estudiantes de Grupo 2: para la cohorte 2018 la administración del instrumento es individual, presencial con registro en formato escrito. Para la cohorte 2019 se administra el instrumento en formato virtual mediante formulario de software online *encuestafacil.com*. No resultó necesaria la instancia de profundización mediante entrevista en ninguno de los casos.

## Análisis de Resultados

A continuación, se presentan los resultados arrojados por las pruebas realizadas a ambos grupos de estudiantes.

Cohorte 2018: Resultado porcentual de respuestas.										
F	PRETEST					POSTEST				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
a.	0	0	21	27	52	0	0	12	30	58
b.	0	0	25	27	48	0	0	15	35	50
c.	10	12	33	23	22	0	0	17	25	58
d.	17	20	25	31	7	0	0	21	38	41
e.	48	33	12	5	2	0	0	5	37	58
f.	55	27	10	5	3	10	15	17	27	31
g.	51	21	12	10	8	0	10	17	28	45
h.	25	27	23	15	10	5	5	25	35	30
i.	15	15	25	22	21	0	10	15	25	50
j.	48	32	10	8	2	10	15	27	33	15
k.	51	22	12	10	5	10	10	22	28	30
l.	58	22	10	5	5	10	10	20	30	30
m.	50	21	19	5	5	5	5	15	35	40
n.	50	21	17	7	5	5	5	20	30	40
o.	50	21	19	5	5	5	5	23	27	40
p.	50	20	20	5	5	5	5	21	25	40
q.	55	15	17	8	5	5	5	25	25	40
r.	55	20	15	5	5	5	5	15	33	42
s.	55	25	10	5	5	5	5	28	32	30
t.	55	20	15	5	5	5	10	18	39	28

Tabla 4. Pretest/postest del Grupo I – Cohorte 2018

Según se muestra en la Tabla 4, del análisis de los resultados del pretest se puede inferir que el grupo de estudiantes entiende el problema planteado y lo puede describir con sus propias palabras, pero no planifica el proceso de resolución destacando que puede al menos resolver una parte. No comprende o conoce la ejecución ni la evaluación de los resultados.

Estos resultados mejoran notablemente luego del cursado de la asignatura. Esto muestra que el grupo de alumnos que llegan a la asignatura desarrollan diferentes cambios en la forma del aprendizaje luego de haber cursado la asignatura. Se logra que los estudiantes se vuelvan más autónomos, por ejemplo, en el planteo de diferentes situaciones problemáticas y un amplio porcentaje de ellos (58 %) hasta pueden explicar a un compañero, utilizan diagramas, pueden describir el problema con sus propias palabras, distinguen datos e incógnitas y condiciones que se han de cumplir.

Cohorte 2019: Resultado porcentual de respuestas										
F	PRETEST					POSTEST				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
a.	0	0	17	33	50	0	0	5	15	80
b.	0	0	17	30	50	0	0	5	15	80
c.	17	17	33	22	11	0	0	12	16	72
d.	15	22	27	33	7	0	0	24	33	43
e.	42	27	18	8	5	0	0	8	27	65
f.	52	19	16	10	3	10	12	22	23	33
g.	48	23	13	12	4	0	5	10	25	60
h.	15	17	27	25	16	5	5	30	35	25
i.	12	19	33	25	22	0	5	38	31	26
j.	45	28	12	10	5	15	15	27	26	17
k.	48	25	13	10	4	5	12	18	23	42

l.	55	31	7	5	2	12	16	22	23	27
m.	52	33	8	5	2	5	5	15	33	42
n.	55	31	7	5	2	5	5	15	33	42
o.	55	31	7	5	2	7	5	17	33	38
p.	52	31	7	5	5	5	5	12	33	45
q.	52	31	7	5	5	0	5	24	38	33
r.	55	31	7	5	2	5	5	12	37	41
s.	55	31	7	5	2	10	15	17	36	22
t.	0	0	17	33	50	0	0	5	15	80

Tabla 5. Pretest/postest del Grupo I – Cohorte 2019

Del análisis de los resultados (Tabla 5), se puede inferir que se observa una situación similar con respecto al año anterior; los estudiantes entienden el problema planteado y lo pueden describir con sus propias palabras, planifican medianamente el proceso de resolución, pero no comprenden o conocen la ejecución ni la evaluación de los resultados.

En el postest, se obtienen mejores resultados con respecto al pretest y también con respecto a la cohorte 2018. Esta situación se explicaría por el proceso de mejora realizado desde el primer momento del cursado, a partir del análisis de las encuestas realizadas durante el 2018, que generó la necesidad de fortalecer y modificar estrategias de enseñanza, lo cual permitió promover diferentes competencias de los alumnos para el logro de un mejor rendimiento y crecimiento académico. Se puede destacar que al final del curso un 80 % (hasta lo puedo explicar a un compañero) de los estudiantes entiende la totalidad de lo planteado en el problema y puede describirlo con sus propias palabras, a través de la propuesta estratégica que coadyuvó al desarrollo de estrategias de aprendizaje y las capacidades de resolución de problemas aplicando las mismas.

Cohorte 2018									
Indicador	Descriptor	Escala							
		Nivel inicial	Nivel básico	Nivel autónomo	Nivel estratégico	Nivel inicial	Nivel básico	Nivel autónomo	Nivel estratégico
		PRETEST				POSTEST			
Comprensión	Identifica datos, incógnitas y condiciones.	5	9	15	3	1	1	20	12
Aplicación del método	Aplica el procedimiento concreto para el tipo de problema.	15	14	2	1	2	6	15	7
Justificación y claridad	Claridad y rigurosidad en el desarrollo de la resolución.	15	15	1	1	4	7	14	7

Resultados	Evaluar exclusivamente los resultados.	22	7	2	1	2	4	17	9
Eficiencia	Elección del método frente a los distintos posibles.	23	6	2	1	1	5	22	4
Análisis crítico	Reflexión sobre la validez de los resultados obtenidos.	24	6	1	1	3	6	17	6

Tabla 6. . Rúbrica de valoración de desarrollo competencial  
Grupo I, cohorte 2018

Cohorte 2019									
Indicador	Descriptor	Escala							
		Nivel inicial	Nivel básico	Nivel autónomo	Nivel estratégico	Nivel inicial	Nivel básico	Nivel autónomo	Nivel estratégico
		PRETEST				POSTEST			
Comprensión	Identifica datos, incógnitas y condiciones.	9	5	3	1	1	2	5	4
Aplicación del método	Aplica el procedimiento concreto para el tipo de problema.	11	4	2	2	1	2	6	3
Justificación y claridad	Claridad y rigurosidad en el desarrollo de la resolución.	12	3	2	1	1	2	6	3
Resultados	Evaluar exclusivamente los resultados.	10	5	2	2	1	4	4	3
Eficiencia	Elección del método frente a los distintos posibles.	12	3	2	2	1	2	5	4
Análisis crítico	Reflexión sobre la validez de los resultados obtenidos.	11	4	2	2	1	1	5	5

Tabla 7. Rúbrica de valoración de desarrollo competencial. Grupo I, cohorte 2019

El análisis de resultados de la rúbrica aplicada por el equipo docente para la valoración de la competencia de los estudiantes (Tablas 6 y 7) refleja el proceso de aprendizaje de los alumnos según su ritmo y sus diferentes habilidades, registrando sus fortalezas, los que nos permite valorar las competencias logradas.

Se puede observar en el postest, al finalizar el dictado de la asignatura, un mejor rendimiento académico en general, como así también el desarrollo de competencias de aprendizaje autónomo, con mayor capacidad de comprensión, aplicación del método, evaluación de resultados de forma más clara y concisa, la elección eficiente del método y la realización de un análisis crítico que propone diferentes alternativas, según los resultados obtenidos previamente.

Para el grupo 2, las escalas usadas fueron las siguientes:

GRUPO 2:

ESCALAS:

E: excelente, MB: muy buena; B: buena; D: deficiente.

C: aparato cardíaco; Ci: aparato circulatorio; DI: aparato digestivo I; DII: aparato digestivo II; R: aparato respiratorio; U: aparato urinario.

I: irrelevante; A: algo relevante; P: pertinente; M: muy relevante; F: fundamental

1.1. Impresión para el Aparato Cardíaco (%)					
	E	MB	B	D	Total
La mostración en preparados cadavéricos le impresionó.	80	20	0	0	127
La mostración en maquetas anatómicas le impresionó.	20	30	50	0	125
La mostración en pizarra le impresionó.	40	30	30	0	125



La demostración en pantalla digital le impresionó.	90	10	0	0	127
La clase teórica le impresionó.	10	50	30	10	125

Tabla 8. Valoración de impresión para el Aparato Cardíaco, Grupo II, cohorte 2018

1.2. Impresión para el Aparato Circulatorio (%)					
	E	MB	B	D	Total
La demostración en preparados cada- véricos le impresionó.	20	45	20	15	125
La demostración en maquetas anató- micas le impresionó.	0	30	60	5	127
La demostración en pizarra le impre- sionó.	0	35	65	0	127
La demostración en pantalla digital le impresionó.	86	8	3	3	126
La clase teórica le impresionó.	4	70	13	13	126

Tabla 9. Valoración de impresión para el Aparato Circulatorio, Grupo II, cohorte 2018

1.3. Impresión para el Aparato Digestivo I (%)					
	E	MB	B	D	Total
La demostración en preparados cada- véricos le impresionó.	35	45	20	0	126
La demostración en maquetas anató- micas le impresionó.	15	55	25	5	127
La demostración en pizarra le impre- sionó.	35	55	10	0	127
La demostración en pantalla digital le impresionó.	78	18	4	0	127

La clase teórica le impresionó.	22	55	23	0	127
---------------------------------	----	----	----	---	-----

Tabla 10. Valoración de impresión para el Aparato Digestivo I, Grupo II, cohorte 2018

1.4. Impresión para el Aparato Digestivo II (%)					
	E	MB	B	D	Total
La demostración en preparados cadavéricos le impresionó.	65	12	20	3	125
La demostración en maquetas anatómicas le impresionó.	25	52	12	3	125
La demostración en pizarra le impresionó.	0	45	55	0	127
La demostración en pantalla digital le impresionó.	25	30	35	10	125
La clase teórica le impresionó.	15	55	25	5	127

Tabla 11. Valoración de impresión para el Aparato Digestivo II, Grupo II, cohorte 2018

1.5. Impresión para el Aparato Respiratorio (%)					
	E	MB	B	D	Total
La demostración en preparados cadavéricos le impresionó.	54	46	0	0	127
La demostración en maquetas anatómicas le impresionó.	45	15	30	10	125
La demostración en pizarra le impresionó.	8	25	50	17	127
La demostración en pantalla digital le impresionó.	10	40	40	10	125
La clase teórica le impresionó.	15	60	25	0	127

Tabla 12. Valoración de impresión para el Aparato Respiratorio, Grupo II, cohorte 2018

1.6. Impresión para el Aparato Urinario (%)					
	E	MB	B	D	Total
La demostración en preparados cada- véricos le impresionó.	15	50	35	0	127
La demostración en maquetas anató- micas le impresionó.	20	30	50	0	127
La demostración en pizarra le impresionó.	22	38	28	12	127
La demostración en pantalla digital le impresionó.	27	40	23	10	127
La clase teórica le impresionó.	53	40	7	0	127

Tabla 13. Valoración de impresión para el Aparato Urinario,  
Grupo II, cohorte 2018

2. En relación al tema del práctico, ¿qué orden de prioridad le daría a cada proceso? (%)						
	APARATO					
	C	Ci	DI	DII	R	U
Preparados cadavéricos	10	14	31	29	33	15
Clase teórica	60	22	15	10	14	15
Pizarra	0	5	15	3	10	5
Pantalla digital	30	45	31	29	29	60
Maquetas anatómicas	0	14	8	29	14	5
TOTAL	127	127	126	127	125	127

Tabla 14. Prioridad de procesos según práctico,  
Grupo II, cohorte 2018.

3.1. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las  
estructuras anatómicas. (%)

APARATO CARDIACO						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	0	0	0	10	90	126
Clase teórica	10	20	10	30	30	125
Pizarra	0	0	60	30	10	127
Pantalla digital	0	0	0	30	70	123
Maquetas anatómicas	0	0	50	40	10	127

Tabla 15. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato cardíaco, grupo II, cohorte 2018

3.2. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)						
APARATO CIRCULATORIO						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	8	0	8	46	38	127
Clase teórica	4	23	15	50	8	127
Pizarra	4	10	43	26	17	127
Pantalla digital	0	0	5	27	68	127
Maquetas anatómicas	0	34	0	43	23	125

Tabla 16. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato circulatorio, grupo II, cohorte 2018

3.3. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)						
APARATO DIGESTIVO I						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	0	0	15	30	55	127
Clase teórica	2	20	22	34	22	127

Pizarra	0	10	20	47	23	127
Pantalla digital	0	0	10	50	40	127
Maquetas anatómicas	0	15	30	52	3	127

Tabla 17. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato digestivo I, grupo II, cohorte 2018

<b>3.4. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)</b>						
<b>APARATO DIGESTIVO II</b>						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	0	0	19	33	48	125
Clase teórica	8	7	23	50	12	127
Pizarra	0	7	35	38	20	126
Pantalla digital	0	0	20	35	48	126
Maquetas anatómicas	0	0	18	26	56	127

Tabla 18. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato digestivo II, grupo II, cohorte 2018

<b>3.5. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)</b>						
<b>APARATO RESPIRATORIO</b>						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	0	0	12	33	65	127
Clase teórica	4	29	9	29	29	127
Pizarra	12	12	38	33	5	127
Pantalla digital	10	0	10	44	36	126
Maquetas anatómicas	0	0	10	53	37	127

Tabla 19. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato respiratorio, grupo II, cohorte 2018

3.6. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)						
APARATO URINARIO						
	I	A	P	M	F	Total
Preparados cadavéricos	0	15	25	30	30	125
Clase teórica	0	17	35	25	23	125
Pizarra	5	16	30	25	18	125
Pantalla digital	7	7	14	23	49	126
Maquetas anatómicas	0	16	20	39	25	125

Tabla 20. Calificación de metodologías de reconocimiento para aparato urinario, grupo II, cohorte 2018

4. ¿Que metodología le permitió entender mejor los conocimientos adquiridos? (%)						
	APARATO					
	C	Ci	DI	DII	R	U
Preparados cadavéricos	40	5	29	45	50	14
Clase teórica	20	11	17	0	0	10
Pizarra	0	5	4	5	14	14
Pantalla digital	30	74	46	21	18	43
Maquetas anatómicas	10	5	4	29	18	19
TOTAL	127	127	127	127	127	127

Tabla 21. Calificación de metodologías por aparato, grupo II, cohorte 2018

5. ¿Qué metodología le permitió poder entender las relaciones entre las diferentes estructuras anatómicas? (%)						
	APARATO					
	C	Ci	DI	DII	R	U

Preparados cadavéricos	45	5	24	41	29	6
Clase teórica	22	15	4	0	10	6
Pizarra	0	0	12	0	5	13
Pantalla digital	33	70	52	14	14	44
Maquetas anatómicas	0	10	8	45	43	31
TOTAL	127	127	127	127	127	127

Tabla 22. Calificación de metodologías de relación entre estructuras anatómicas, grupo II, cohorte 2018

6. ¿Qué método de enseñanza y aprendizaje consideras más conveniente para adquirir conocimientos de la anatomía descriptiva? (%)						
	APARATO					
	C	Ci	DI	DII	R	U
Preparados cadavéricos	27	12	32	32	67	19
Clase teórica	0	0	5	3	5	12
Pizarra	0	0	4	7	5	12
Pantalla digital	46	88	50	29	9	41
Maquetas anatómicas	27	0	9	29	14	16
TOTAL	127	127	127	127	127	127

Tabla 23. Valoración de estrategia de Enseñanza – Aprendizaje en Anatomía Descriptiva, grupo II, cohorte 2018

A partir de la recolección de los datos expuestos, en los que se muestra la valoración de los estudiantes, según el contenido desarrollado en la clase práctica correspondiente a cada aparato anatómico, se puede apreciar que la mostración en pantalla digital impresiona más cuando se trata de los aparatos cardíaco, circulatorio y digestivo I, mientras que para los aparatos digestivo II y respiratorio prefieren la mostración con preparados cadavéricos, y luego para la impresión del aparato

urinario, prevalece la elección de la clase teórica.

Posteriormente, cuando se les solicita a los estudiantes que indiquen la prioridad de los procesos para cada uno de los aparatos, se observa que destacan las clases teóricas en ciertos saberes como el aparato cardíaco, pero luego la prioridad se establece para la pantalla digital por encima de las demás estrategias en sus dos opciones de prelación.

En lo que respecta al reconocimiento de las estructuras anatómicas, los alumnos consideran fundamental los preparados cadavéricos en la mayoría de los saberes seleccionados (aparatos: cardíaco, digestivos I y II, y respiratorio), mientras que califican como fundamental la pantalla digital para los aparatos circulatorio y urinario. Asimismo, en la elección de la metodología, califican como muy relevantes las maquetas anatómicas para la mayor parte de los temas.

Para la comprensión de los contenidos, destacan la pantalla digital y los preparados cadavéricos como primera opción por encima de las demás estrategias. Mientras que, para la opción de la comprensión de la relación entre esos contenidos, se repite la predilección de la pantalla digital, pero seleccionan como segunda estrategia las maquetas anatómicas.

La conveniencia de estrategia para la apropiación de saberes de anatomía descriptiva recae ampliamente en la pantalla digital y luego, para contenidos puntuales, en los preparados cadavéricos.

### Cohorte 2019

1. Impresión (%)					
	E	MB	B	M	Total
La mostración en preparados cada- véricos le impresionó.	49	33	14	3	97



La mostración en maquetas anatómicas le impresionó.	45	41	11	3	96
La mostración en pizarra le impresionó.	16	41	37	6	95
La mostración en pantalla digital le impresionó.	51	32	15	2	94
La clase teórica le impresionó.	11	34	50	5	94

Tabla 24. Valoración de impresión Grupo II, cohorte 2019.

<b>2. En relación al tema del práctico, ¿qué orden de prioridad le daría a cada proceso? (%)</b>							
	1º	2º	3º	4º	5º	NS/NC	Total
Preparados cadavéricos	35	21	15	8	21	0	97
Clase teórica	54	10	5	9	19	3	94
Pizarra	5	28	22	26	19	0	93
Pantalla digital	15	24	36	19	6	0	95
Maquetas anatómicas	14	27	25	23	9	1	95

Tabla 25. Prioridad de procesos según práctico, Grupo II, cohorte 2019

<b>3. Califique la metodología que le permitió reconocer mejor las estructuras anatómicas. (%)</b>							
	I	A	P	M	F	NS/NC	Total
Preparados cadavéricos	0	1	9	20	66	3	95
Clase teórica	0	6	15	35	43	1	94
Pizarra	5	15	33	33	13	1	94
Pantalla digital	0	5	16	38	40	0	94

Maquetas anatómicas	8	17	29	27	17	2	93
---------------------	---	----	----	----	----	---	----

Tabla 26. Calificación de metodologías de reconocimiento, grupo II, cohorte 2019

4. ¿Qué metodología le permitió entender mejor los conocimientos adquiridos? (%)						
	1º	2º	3º	4º	5º	Total
Preparados cadavéricos	28	33	17	16	6	96
Clase teórica	38	21	23	10	7	94
Pizarra	17	22	14	35	12	93
Pantalla digital	28	20	31	9	12	95
Maquetas anatómicas	18	12	13	18	39	94

Tabla 27. Valoración de metodología de apropiación de conocimientos adquiridos, grupo II, cohorte 2019.

5. ¿Qué metodología le permitió poder entender las relaciones entre las diferentes estructuras anatómicas. (%)						
	1º	2º	3º	4º	5º	Total
Preparados cadavéricos	36	29	24	7	4	92
Clase teórica	29	20	16	14	21	92
Pizarra	8	23	26	29	15	93
Pantalla digital	48	22	17	9	4	93
Maquetas anatómicas	9	12	11	25	43	91

Tabla 28. Calificación de metodologías de relación entre estructuras anatómicas, grupo II, cohorte 2019

6. ¿Qué método de enseñanza-aprendizaje consideras más conveniente para adquirir conocimientos de la anatomía descriptiva? (%)						
--	--	--	--	--	--	--

	<b>Total</b>
Preparados cadavéricos	52
Clase teórica	61
Pizarra	37
Pantalla digital	58
Maquetas anatómicas	24

Tabla 29. Valoración de estrategia de Enseñanza – Aprendizaje en Anatomía Descriptiva, grupo II, cohorte 2019

El análisis de resultados para la cohorte 2018 indica la prioridad de las clases teóricas para el desarrollo de las clases prácticas en ciertos saberes conocer como aparato cardiaco, por ejemplo, pero luego la prioridad destaca la pantalla digital por encima de las demás estrategias en sus dos opciones de prelación.

Para el reconocimiento de las estructuras anatómicas, los estudiantes consideran fundamental los preparados cadavéricos para la mayoría de los saberes seleccionados y califican como fundamental la combinación de clases teóricas, pantalla digital y preparados cadavéricos.

Para la comprensión de los contenidos, los aprendices destacan la pantalla digital y los preparados cadavéricos como primera opción por encima de las demás estrategias. En cambio, para la opción de la comprensión de la relación entre esos contenidos, se repite la predilección de la pantalla digital, pero seleccionan como segunda estrategia las maquetas anatómicas.

La conveniencia de estrategia para la apropiación de saberes de anatomía descriptiva recae ampliamente en la pantalla digital y luego, para contenidos puntuales, en los preparados cadavéricos.

La cohorte 2019 prioriza las clases teóricas para el desarrollo de las clases prácticas y luego la pantalla digital por encima de las demás estrategias en sus dos opciones de prelación, en

concordancia de la cohorte anterior

Para el reconocimiento de las estructuras anatómicas, se considera, fundamentalmente, la importancia de los preparados cadavéricos en la mayoría de los saberes seleccionados y se califica como exclusiva a la pantalla digital, sin asociar a otras estrategias como la cohorte anterior.

Para la comprensión de los contenidos, los alumnos destacan la pantalla digital y los preparados cadavéricos como primera opción por encima de las demás estrategias, mientras que, para la opción de la comprensión de la relación entre esos contenidos, se repite la predilección de la pantalla digital, pero seleccionan como segunda estrategia los preparados cadavéricos; esta es una diferencia con respecto a la cohorte 2018, que selecciona las maquetas anatómicas, en este orden de prelación.

La conveniencia de estrategia para la apropiación de saberes de anatomía descriptiva recae ampliamente en la clase teórica por encima de la pantalla digital, a diferencia de la cohorte anterior.

Del análisis conjunto de ambas cohortes se plantea, como un interrogante al margen: ¿será esta elección consistente con la caracterización de la generación (Z) a la que pertenece el alumnado?

Por lo anteriormente expuesto, se puede inferir que la estrategia de enseñanza y aprendizaje de mayor elección para la apropiación de saberes en anatomía descriptiva, en clases prácticas, resulta ser la pantalla digital, con el necesario desarrollo previo de las clases teóricas que resultan altamente valoradas.

## Conclusiones

Este estudio realizado en el dictado de la asignatura QA muestra que, si bien los estudiantes conocen y comprenden previamente la situación problemática, carecen de las capacidades para resolver organizadamente un problema, poniendo en juego una serie de estrategias de planificación, ejecución y evaluación.

Esta situación mejora notablemente en ambas cohortes, luego del cursado de la asignatura donde el equipo de cátedra despliega estrategias de enseñanza que promueven la adquisición de esas capacidades y el desarrollo de la competencia de resolución de problemas, que, como se demuestra en este trabajo, reviste de la mayor importancia para el desarrollo profesional de carreras científico-tecnológicas.

La valoración de la utilización de diferentes estrategias de enseñanza y aprendizaje en la asignatura Anatomía Normal de la carrera de Medicina, ya sea, según el propósito educativo, en cualquiera de sus tres dimensiones -cognitivas, metacognitivas y de manejo de recursos- demuestra que las clases teóricas, también denominadas clases magistrales en el ámbito educativo, abandonan esta metodología expositiva de transmisión de conocimiento, dejan de tener el protagonismo absoluto de antaño e incorporan nuevas estrategias dirigidas a potenciar la iniciativa y la participación activa y responsable de los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje. Por esto, coincidentemente con trabajos previos (Galiano y Sevillano, 2015), se rescata el valor didáctico de esta estrategia, para su uso en este nivel, en este modelo y en este contexto, y se considera su adaptación a las ideas previas de los estudiantes, esquemas, experiencias vitales y estilos cognitivos; también se la contempla como estrategia portadora de mensajes formativos, pues se tiene en cuenta la complejidad o nivel de abstracción del contenido a enseñar.

Esta estrategia tradicional en el ámbito universitario coadyuvada con la necesaria incorporación de recursos digitales, -en el caso elegido por los estudiantes, la pantalla interactiva-, los cuales contribuyen también al desarrollo de algunas de las capacidades que promueven las competencias fundamentales vinculadas a interpretar información, establecer asociaciones entre la información disponible, observar, trabajar en equipo y razonar deductiva e inductivamente, por la propia naturaleza de la disciplina. Esto ocurre a diferencia del primer grupo, cuyo desarrollo de competencias se vinculan a la resolución de problemas, también debido a la naturaleza disciplinar de la química en general y de la química analítica en particular.

Por último, se puede establecer que el desarrollo de competencias desde el modelo de Aprendizaje Centrado en el Estudiante en estudiantes de carreras científico-tecnológicas de la UNSE es posible y está en marcha.

## Bibliografía

- CONFEDI (2014). *Competencias en Ingeniería* (1ªed.). Mar del Plata, Argentina: Universidad FASTA.
- CONFEDI (2018). *Propuesta de Estándares de Segunda Generación para la Acreditación de Carreras de Ingeniería en la República Argentina. Libro Rojo*. Rosario: CONFEDI.
- Díaz Barriga, F. y Hernández, G. (2010). *Estrategias docentes para un aprendizaje significativo. Una interpretación constructivista*. (3ª Ed). México: McGraw Hill
- Echenique, I. (2006). *Matemáticas resolución de problemas*. Pamplona: Fondo de Publicaciones del Gobierno de Navarra.
- Fenstermacher, G. D. (1979). A philosophical consideration of recent research on teacher effectiveness. *Review of Research in Education*. 6 (1), pp. 157-185.
- Galiano, J. E. y Sevillano García, M. L. (2015). "Estrategias de Enseñanza de la química en la Formación Inicial del Profesorado Universitario". *Educatio Siglo XXI*. 33 ( 1), pp. 215-234.
- Galiano, J. E. (2015). *Estrategias de Enseñanza de la Química en la Formación Inicial del Profesorado*. Tesis Doctoral. Madrid: UNED. En [www.e-spacio.uned.es/.../tesisuned.../Jgaliano/GALIANO\\_Jose\\_Eduardo\\_Tesis.pdf](http://www.e-spacio.uned.es/.../tesisuned.../Jgaliano/GALIANO_Jose_Eduardo_Tesis.pdf).
- Galiano, J. y Bustamante, P. (2017). "Competencias didácticas en la Formación Inicial de Profesores de Química" en Duviní, L. et al (Eds.) *Educación Científica e Inclusión Sociodigital*. Alcalá de Henares, España: UAH - UNESCO.
- Garritz, A. (2010). La Enseñanza de la Ciencia en una sociedad con incertidumbre y cambios acelerados. *Enseñanza de las Ciencias*. 28 (3), pp. 315–326
- Hernández Sampieri, R; Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la investigación*. 5ª Ed. México: Mc Graw Hill.
- Maia, P.F. y Justi, R. (2009). Learning of Chemical Equilibrium through Modelling-based Teaching, *International Journal of Science Education*. 31(5), pp. 603-630.

- Polya, G. (1965) *Cómo plantear y resolver problemas [título original: How To Solve It?]*. México: Trillas.
- Proyecto Tuning. (2007). *Reflexiones y perspectivas de la Educación Superior en América Latina. Informe Final*. Proyecto Tuning América Latina, 2004-2007.
- Randstard Research (2016). *Informe anual sobre la flexibilidad laboral y el empleo*. [https://www.randstadresearch.es/wp-content/uploads/2016/11/RandstadInforme\\_Flexibilidad2016.pdf](https://www.randstadresearch.es/wp-content/uploads/2016/11/RandstadInforme_Flexibilidad2016.pdf)
- Tobón Tobón, S.; Pimienta Prieto, J. H., y García Fraile, J. A. (2010). *Secuencias Didácticas: Aprendizaje y Evaluación de Competencias*. México: Pearson Educación.
- Tobón Tobón, S. (2013). *Formación integral y competencias. Pensamiento complejo, currículo, didáctica y evaluación* (4ta. Ed.). Bogotá: ECOE.
- Wainmaier C., Viera L., Roncaglia D., Ramírez S., Rembado F., Porro S. (2006) "Competencias a promover en graduados universitarios de carreras científico-tecnológicas: la visión de los docentes". *Educ. quím.* 17 (2), pp. 114-122.



III. ÁREA TEMÁTICA:  
DESARROLLO HUMANO,  
ECONÓMICO, SOCIAL  
Y DE POLÍTICAS PÚBLICAS

# MEMORIAS E IDENTIDADES EN UN CONTEXTO DE CONFLICTO TERRITORIAL

## Algunas propuestas de abordaje

CARLOS BONETTI<sup>1</sup>

### Resumen

Este artículo tiene por objetivo exponer algunas reflexiones en torno al lugar que ocupa la memoria y el pasado en la construcción de la identidad y su interpelación en situaciones de conflicto territorial. En base a experiencias de campo con la comunidad campesina de Pozo del Castaño, el trabajo pone el foco en dos aspectos. Por un lado, se trata de problematizar las formas de representación y reconstrucción del pasado, que, junto a la identidad, se convierten en objeto de revisión e interpelación en contextos de conflictividad donde se pone en juego la misma concepción de "campesino" y su lugar como sujeto histórico. Por otra parte, se propone reflexionar acerca de las estrategias metodológicas y la necesaria contribución del trabajo de las ciencias sociales como un aporte más a la resistencia campesina.

1 Docente-Investigador de la FHCSyS-UNSE. Instituto de Lingüística, Folklore y Arqueología. Doctor en Ciencias Sociales.

Palabras clave: Memorias; Identidad; Campesinado; Conflictos; Territorio

### **Abstract**

This article aims to present some reflections on the place that memory and the past occupy in the construction of identity and its interpellation in situations of territorial conflict. Based on field experiences with the rural community of Pozo del Castaño, the work focuses on two aspects. On the one hand, it is about problematizing the forms of representation and reconstruction of the past, and as together with identity, they become an object of review and interpellation in contexts of conflict where the very conception of "peasant" and its place as a historical subject. On the other hand, it is proposed to reflect on the methodological strategies and the necessary contribution of the work of the social sciences as a further contribution to peasant resistance.

Keywords: Memories; Identity; Peasantry; Conflicts; Territory

### **Introducción**

El abordaje del campesinado santiagueño desde las ciencias sociales ha tenido interesantes contribuciones, principalmente desde la perspectiva política/organizacional (De Dios, 2004, 2010; Jara, 2014, 2020), desde la economía y la producción (Paz, 2013) y desde el enfoque jurídico y de derechos (Barbetta, 2009). Sin embargo, los antecedentes sobre aspectos identitarios, históricos y de memorias son escasos y constituyen cierta

vacancia en la agenda de investigación local<sup>2</sup>.

En tal sentido, el presente artículo se inscribe en estas líneas de indagación presentando las experiencias de trabajo de campo en la localidad rural de Pozo del Castaño<sup>3</sup>. Se trata de problematizar la relación entre memoria e identidad en un contexto de conflicto territorial, y, al mismo tiempo, evidenciar el valor instrumental al pensarse como recurso político para la defensa de los territorios. En este caso, nos centraremos en reflexiones epistemológicas y metodológicas acerca de la (re) construcción y representación del pasado a través de entrevistas grupales a miembros de la comunidad y con pertenencia al Movimiento Campesino de Santiago del Estero (MOCASE HISTÓRICO) y el uso de otros recursos como las genealogías familiares para articular identidad(es) y memoria(s), cuyos resultados fueron presentados en trabajos anteriores (Bonetti, 2019; 2020). Dar vuelta los lentes para un análisis epistemológico del proceso de conocimiento nos invita a mirarlo también como propuesta política, no sólo porque desde un inicio fue formulado con ese sentido, y en común acuerdo con referentes de la comunidad, sino también porque el proceder del conocimiento implica una pregunta totalmente necesaria y compleja,

2 Son variados los antecedentes de trabajos antropológicos en el norte argentino que abordan de una manera directa o implícitamente la relación entre memorias indígenas y ciertos procesos identitarios. En tal sentido podemos citar una diversidad de autores como Gordillo, Tola, Rodríguez, Pizarro, Manasse, Arenas, Sica, Espósito, Grosso, entre otros.

3 El trabajo con la comunidad se desarrolló en el marco del proyecto de Investigación "Territorio y territorialidad en el chaco santiagueño: Conflictos, resistencias e identidades en comunidades campesinas e indígenas. Una perspectiva histórica y antropológica" y con continuidad en el actual proyecto "Territorialidad, identidades y memorias en el Chaco santiagueño" ILFyA- FHCSyS-UNSE. Cabe destacar que gran parte de este trabajo en terreno fue llevado adelante colectivamente por sus integrantes.

el “para qué quiero conocer”, como señala Zemelman (2006).

El trabajo se inició con participantes de la comunidad campesina -situada en el departamento Figueroa<sup>4</sup>- que desde hace más de diez años se encuentra con diversos conflictos ocasionados por la presencia de empresarios foráneos que adquirieron parte de esas tierras para el desarrollo de actividades ganaderas. En los diferentes encuentros que mantuvimos, las preocupaciones rondaban en el carácter dificultoso de enfrentar y desarmar los entramados judiciales y en la complicidad de los aparatos de seguridad local y provincial con el empresariado, sin mencionar la recurrente presencia de la violencia privada -como suele ocurrir en los márgenes del Estado- (Das y Poole, 2008) a través de bandas armadas, en su intento de persuadir el reclamo campesino por su derecho legítimo a esas tierras de uso común. Además, no solo la preocupación era asegurarse la posesión de las tierras sino también la presencia más efectiva del Estado, a través de servicios esenciales que van desde el agua potable hasta la provisión de medicamentos y el arreglo de los caminos<sup>5</sup>.

Nuestra propuesta como universitarios que entrábamos en territorio era trabajar aspectos poco visibles y un tanto “menores”, si los colocamos en la balanza de este contexto y en relación a las demandas apremiantes por las necesidades arriba mencionadas. ¿Qué interés puede tener abordar la relación memoria-identidad y la historia en un contexto de carencias

4 Figueroa es un departamento ubicado al este provincial, en la zona del río Salado. Pozo del Castaño se ubica en los límites de ese departamento con el de Moreno. Toda esa geografía corresponde a lo que se denomina como el chaco-santiagoño por sus características ecológicas y ambientales. Además, como lo atestiguan documentos y periódicos, fue parte de un territorio de presencia y resistencia indígena hasta fines del siglo XIX y principios del XX.

5 El hospital más cercano queda a más de 60 km. y el acceso a la localidad se dificulta dado el estado de los caminos de tierra y ripio.

materiales y de necesidades inmediatas?; si los conflictos se dirimen en los juzgados, con la lógica de la propiedad privada y bajo la legislación hegemónica (sumados a los intereses de clase que siempre están insertos), ¿qué sentido tenía nuestra propuesta?. ¿Cuál puede ser su relevancia si los campesinos/as no tienen legislaciones específicas (el reconocimiento de los derechos promulgados por la ONU aún no se aplica) como los pueblos originarios en las que se reconocen diferentes derechos?. Estas eran algunas de las preguntas que atravesaban constantemente la reflexión del “para qué” investigar, en la búsqueda de un resultado más allá del producto académico. Podemos decir que las preocupaciones generales en cuanto perspectiva de conocimiento se sintetizaban en estos dos interrogantes: por un lado, ¿qué podía aportar un enfoque que busque indagar en las memorias locales para contribuir en la lucha por la posesión territorial?. Y, por el otro, ¿cómo hacer intervenir los conocimientos históricos en esa dirección?

En los distintos encuentros -mediante entrevistas en profundidad y talleres-, se indagó sobre el pasado y la presencia histórica de las familias, la vida comunitaria, los usos del territorio en relación a las principales actividades económicas como la cría de animales de granja, la venta de postes, la caza y la recolección. Por otro lado, la identidad en tanto forma de auto-representación que los posiciona como “sujeto colectivo” fue un aspecto que nos permitió advertir quiebres y continuidades respecto a las representaciones del pasado en contraste con el presente. En este caso, la historia oral y la memoria se convierten en un canal para explorar no solo las subjetividades en la (re)construcción del pasado (Halbwachs, [1950] 2011) en relación al trabajo en el obraje, la vida cotidiana, los lazos comunitarios, etc., sino también la adquisición, bajo ciertas circunstancias, de un valor instrumental para la defensa de los territorios en condiciones estructurales de desigualdad.

A partir de ello y bajo un sentido analítico, presentamos el

texto en base a dos ejes de desarrollo. El primero consiste en la exposición del caso del conflicto y el análisis sobre la relación memoria-identidad en tal contexto, y el segundo está centrado en la reflexión del camino metodológico y de sus posibilidades de articulación con el campo político y jurídico, apostando por reestructuraciones estatales que impliquen el reconocimiento de la diversidad y la historia del sector campesino.

### **Conflictos por el territorio campesino**

En el año 2008 estalla en Pozo del Castaño el primer conflicto territorial, el cual toma estado público a partir de la visibilización que hace la comunidad cortando la ruta nacional 34 en el año 2010, acompañado de la presentación de un interdicto aprobado por el juez interviniente. Una sociedad empresarial de origen cordobés había comprado a herederas de un histórico obrajero de la zona, más de 10.000 hectáreas ubicadas al oeste de la localidad, lugar de uso común para el pastoreo de animales y de otras actividades como la caza y la recolección de miel, desarrolladas históricamente por las familias campesinas. Se trata de "Carnes para todos", una sociedad empresarial que tuvo vínculos con "Estancias del Sur", dedicada a la exportación de carne vacuna.

Los conflictos en la zona fueron ocasionados por el cerramiento y el desmonte que formaban parte del plan productivo de los empresarios, los cuales generaron distintas situaciones de violencia que irrumpían con los modos de vida y la cotidianidad de la comunidad. En este punto es necesario remarcar que el problema de tierras en la provincia y en toda la región tiene una matriz colonial, en tanto que se generó con la conquista y que luego fue adquiriendo ciertas particularidades en función de los distintos contextos históricos. La dimensión actual de la problemática puede visibilizarse a partir de ciertos

datos, como los expresados en el informe de la Red Agroforestal Chaco Argentina (REDAF) del año 2012, en el que se releven, durante el período 2007-2011, 214 casos de conflictos de tierras en la región norte, de los cuales 122 habían tenido lugar en Santiago del Estero.

Históricamente, cuando esas tierras, hoy en disputa, estaban en manos de otros propietarios o empresarios, su uso cotidiano y comunal no se había visto afectado. En este caso, es el alambre y la imposibilidad del uso históricamente extensivo del territorio lo que activó el conflicto.

Las estrategias de resistencia de las familias de la comunidad de Pozo del Castaño y de los parajes cercanos fueron decisivas para visibilizar la problemática. La vinculación con instituciones como la Universidad Nacional de Santiago del Estero generó la puesta en marcha de investigaciones y búsqueda de información para sumar argumentos científicos. Asimismo, la intervención del Comité de Emergencia y la Mesa Provincial de Tierras como espacios gestionados por el Estado, fueron de suma importancia para validar los argumentos utilizados por la comunidad en las causas judiciales iniciadas.

El conflicto, no solo generó la organización del campesinado para llevar adelante medidas en el plano político y jurídico y para denunciar las violencias, si no que también, activó un proceso reflexivo para pensarse identitariamente desde una dimensión histórica y territorial, revisando el pasado indígena presente en la oralidad y en la huella arqueológica.

## De indios a campesinos

El campesino se constituye históricamente como el actor rural de trascendencia. El genérico "campesino" o "habitantes de la campaña" opera como una categoría histórica que aparece



con mayor visibilidad en el discurso intelectual, político y académico aproximadamente desde fines del siglo XIX, a través de las reconocidas memorias descriptivas de Gancedo (1885) y Fazio (1889), de maestros y directivos rurales como Bravo (1942) o Moreno Saravia (1938), entre otros. Los distintos mecanismos de desindianización que operaron desde fines de la colonia y principios de la etapa republicana posibilitaron un blanqueamiento social y una ruptura en términos de identificación basados exclusivamente en la condición étnica/racial (Bonetti, 2016). Esto fue acompañado de un discurso político e intelectual que se fue consolidando durante el siglo XX, en el que predomina la imagen de un sujeto rural asociado al trabajo de la tierra, con base en una economía de subsistencia en situaciones estructurales de precariedad y con un alto grado de folklorización de su identidad. En ese sentido, se instaló una mirada esencialista que se refleja en representaciones que romantizan la "vida en el campo", poniendo el acento en el peso de la tradición.

Lo que señalamos contribuyó a la construcción de un sujeto homogéneo aparentemente "sin historia", con un fuerte corte con el pasado colonial y pensado en términos de una suerte de "etnicidad ficticia"<sup>6</sup> (Balibar, 1991) a través del discurso del mestizaje hispano-indígena como condición de su surgimiento.

En las últimas décadas, a partir de la organización del sector como respuesta a las problemáticas de tierras y de los continuos desalojos de sus propios territorios, el campesinado se

6 Lo tomamos a la inversa del planteo del autor. La etnicidad ficticia refleja la praxis elaborada por el propio estado para representarse en torno a una comunidad en relación a la raza y la lengua en la invención de un supuesto origen común. Aquí lo planteamos en una invención del estado en relación a un otro rural sin distinción o reconocimiento étnico.

resignificó como identidad política a través de un repertorio de acciones colectivas y de estrategias de resistencia territorial.

### **El Tata Inda y el presente-pasado indígena en territorio castañense**

Es en este marco en el que comprendemos al sujeto campesino y desde donde explicamos, con mayor profundidad, las propias subjetividades acerca de la memoria y la identidad. El trabajo genealógico que emprendimos para abordar esta relación permitió que algunas familias castañenses logren reconstruir parcialmente su propia historia en la zona y tender un puente con el pasado indígena que muchas veces se presenta como divorciado.

Uno de los aspectos más significativos que surge en la identificación genealógica se vincula, justamente, con lo indígena. La figura recurrente y representativa de Indalecio Carabajal, conocido como "Tata Inda", cristaliza para los pobladores la imagen del "indio" o "raza india" que es objetivada en su fenotipo y en prácticas de caza y recolección, como generalmente aparece en el discurso de los sectores rurales de la provincia para referirse, principalmente, a pobladores antiguos. Sin embargo, las caracterizaciones van más allá de estas descripciones y tipificaciones raciales y se asocian a destrezas y manejos de recursos de caza y conocimiento del monte, e incluso hasta convertirse en una referencia que se invoca desde el pasado para tener suerte con los animales, tal como afirma un poblador:

Hasta por ahí cuando sale Yilina hace cazar, lleva sus perros en el nombre de Tata Inda. Se me ocurre a mí preguntar quién era Tata Inda, y me dice: "Era un tipo que vivía en el monte, era un indio y a mí siempre me hace como milagros" sabe decir de él. Y digan aquí

que cuando sale Yilina nunca le erra a la cacería.

El tata, “padre” en lengua quichua, parece representar en el imaginario castañense al antiguo poblador, el que tiende un puente con el pasado y logra identificarlos de alguna manera con la ascendencia indígena. Las descripciones de un hombre de baja estatura y con una profusa barba blanca, según relatos de la familia, refuerzan la categoría de indio y de otro genérico usado en las zonas del río Salado y del Chaco Santiagueño, como lo es el de “mataco” para referirse a la población indígena o no civilizada. Esta categoría, construida en la colonia, continuó operando con vigorosidad en las conceptualizaciones rurales como lo demuestra el censo de 1869, en el que se identifica un grupo de “matacos” provenientes del río Bermejo incorporados como jornaleros en el departamento Copo. Su bisnieta, recuerda que su madre lo caracterizaba como “bien negrito” de barba blanca, de corta estatura, “como mataco”, recalca. Uno de los pobladores más longevos recuerda que, siendo niño, lo conoció al ya anciano Indalecio, quien posteriormente habría migrado al Chaco, donde falleció con más de 100 años.

Más allá de estas caracterizaciones a través del relato oral, contamos con un indicio documental para ubicar a Indalecio en el departamento Juan Felipe Ibarra (zona de Matará al norte) hacia 1869, durante el primer censo nacional de Sarmiento. Con 9 años de edad, podría tratarse de él mismo, considerando los tiempos aproximados de su vida y la residencia en la zona del Salado. En los relatos que recopila Mario Tebes (2009) en su libro “Castañumanta Yuyayniy” se da cuenta de su existencia; allí, destaca que se trataba del poblador más añejo en la zona, monolingüe quichua, ya que solo entendía, pero no hablaba, el castellano. Así, el diacrítico de la lengua, sumado a otras características, pasa a convertirse en algunas circunstancias en indicador de la alteridad indígena.

Una de sus descendientes, refiere al mestizaje en relación a la influencia de dos herencias que reconoce en el árbol de la familia. Por un lado, la ascendencia española de su abuela, y, por otro, la ascendencia indígena de la vertiente de Indalecio: “[...] y bueno que somos los descendientes por parte de los Carabajales pero nosotros teníamos apellido Almaraz por parte de mi abuela, que era inmigrante de raza española y se hacen con estos descendientes indígenas”.

La evidencia del mestizaje parece no centrarse únicamente en lo fenotípico, sino también en las prácticas sociales y en la misma estética. Es así que el mestizaje funciona como un dispositivo discursivo en muchas zonas rurales de la provincia para definirse identitariamente cuando se interpela sobre el pasado indígena<sup>7</sup>, que se silencia cuando las categorías de campesino/a, productor/a o simplemente poblador/a asegura una membresía que no se cuestiona (Bonetti, 2016). El mestizaje, incluso, puede ser imaginado o ficticio, a modo de hipótesis, a partir de las subjetividades que cristalizan lo racial para responder a una identidad presente.

En todo caso, los descendientes ya son considerados en el marco de una mestización y, por lo tanto, con un reconocimiento más débil. Y como observamos en las últimas generaciones, la identificación pasa por la de “campesino”, que, si bien no excluye lo indígena, queda en el primer estrato y se articula con otras membresías como la de “productor”, generadas por el propio Estado en tanto categorías vinculadas a la capacidad económica y de trabajo. Entonces, la pregunta que vuelve

7 En un trabajo de campo que realicé en la zona del río Dulce, departamento Silípica, se evidencia que el mestizaje también forma parte del discurso identitario del campesinado cuando se interpela la relación con el pasado indígena. En algunas ocasiones la categoría de “mezclao” se hacía visible para referirse tangencialmente a la ascendencia indígena.

es: ¿Qué significa ser indio para los/as castañeneses?. Si bien, podemos decir que es una categoría bastante elástica que se vincula con experiencias acumuladas y con la construcción de memorias hegemónicas, lo indio definido como categoría social (no étnica) responde también a las percepciones que se construyen desde el presente, sobre todo si consideramos que la memoria es construcción de un pasado que se actualiza (Candau, 1998). Es muy probable que "Tata Inda" no haya sido considerado "indio" por sus patrones, ni por otros pares, sino que se trata de una categoría más doméstica, un discurso oculto (Scott, 2004) que en todo caso se refuerza en el presente, como lo advierten sus descendientes: "Para nosotros, él [Indalecio] era indio [...] porque andaba descalzo con ushuta, era como un indígena". Incluso, Clara, su bisnieta, asume su indianidad al sostener: "Y si yo soy de aquí, yo me identifico como indígena, yo soy india. Descendiente de indios".

Como dijimos, la categoría de campesinos es la más aceptada para autodefinirse, la que no solo refleja una designación en términos geográficos o de trabajo, sino que pasa a tener una impronta política, en tanto que opera para el reconocimiento del campesino en las últimas décadas como sujeto político y movilizad. Sin embargo, es necesario aclarar, que las categorías responden a contextos y que las políticas conceptuales (De la Cadena, 2006) remiten a condiciones de posibilidad para designarse y ser legitimado como indio y/o campesino.

### **Identidad territorial(izada) y prácticas comunitarias**

El obraje y el desmonte, constituyen puntos de inflexión en las memorias y en las mismas interpelaciones sobre la identidad. El conflicto parece significar una nueva demarcación social a modo de frontera (Barth, 1976), que sitúa en la dinámica social una nueva forma de considerarse en relación a un sujeto no-

vedoso, en este caso el empresario ganadero, y a un proceso de cerramiento efectivo de las tierras. En las entrevistas son recurrentes las menciones sobre las consecuencias ecológicas del desmonte, entre las que se destaca a las constantes sequías que dificultaron el desarrollo de la pequeña agricultura campesina, principalmente cuando se establece una comparación con los "antiguos". Sus antepasados tenían cercos, cosechaban y sembraban, es decir, desarrollaban prácticas productivas que se fueron diluyendo como consecuencia, entre otros aspectos, de las condiciones ambientales y ecológicas. Este corte con el pasado y su necesidad de revisión, así como la valoración del territorio y de prácticas antiguas, parece reactivarse en la coyuntura de conflictividad.

La elaboración de una categoría como la de "identidad territorial o territorializada", -en tanto acción de inscripción- nos sirvió para dar cuenta de la construcción de un sentido de pertenencia e identificación en relación a las dimensiones materiales y simbólicas del territorio con perspectiva histórica, donde se articula, compara y valora un pasado en relación a las circunstancias del presente (Bonetti, 2019). Lo que se aprende en el territorio y desde los "viejos" parece constituirse en lo que Candau (1998) llamó como una protomemoria en tanto memoria inscrita en el cuerpo. Se trata de un conocimiento práctico que implica la disposición a la caza y a la recolección como formas de ocupación y circulación territorial, donde el pasado no se representa, sino que se actúa, se pone en práctica, tal como nos señala uno de nuestros informantes respecto al aprendizaje sobre la caza y el uso del monte: "[...] viene de la gente de antes, los mayores [...] cuando nacemos ya nacemos sabiendo todo eso".

En esta comparación con el pasado, los antiguos pobladores, identificados en algunas ocasiones como indios, son resignificados en el contexto de conflicto. Muchos de ellos se personifican en las historias familiares bajo el sentido comunitario

de "nuestros abuelos". De este modo, las voces nativas reflejan una necesidad de resistir en el territorio a partir de poner en valor sus antepasados y de significar su relación con el monte chaqueño, los aprendizajes derivados de la caza, la recolección, la agricultura familiar y hasta el mismo oficio de hachero (más allá de las contradicciones respecto al uso/degradación del monte), saberes y prácticas, en la que los "antiguos" desempeñaron un rol fundamental. Al mismo tiempo, las reminiscencias respecto a un pasado con lazos comunitarios más sólidos y su aparente disolución, emergente en gran parte de los relatos, es parte de una memoria que necesita reconstruirse y que el conflicto parece haber activado.

### Reflexiones metodológicas

Nuestra propuesta metodológica se sustentó, como dijimos al comienzo, desde una doble perspectiva que trató de articular la generación de conocimiento académico y las expectativas de contribuir con la población.

El armado de las genealogías a partir de los talleres realizados con la comunidad campesina nos permitió trabajar la historicidad de las familias en el espacio y, al mismo tiempo, comprender en términos de memorias las propias representaciones/reconstrucciones del pasado. La intención no era seguir una perspectiva netamente biologicista del parentesco, sino del reconocimiento de la ascendencia que ponga en evidencia las formas nativas de entender la familia y los vínculos sociales. Además, a ello se sumaron dimensiones de poblamiento, migración, economía e identidad.

Estas genealogías, que se diagramaron en el marco de un trabajo etnográfico más amplio, se abordaron comunitariamente, es decir, las voces de todos los participantes contri-

buyeron a reconstruir el pasado de familias extensas y de evidenciar miradas colectivas acerca de ciertas problemáticas y categorías nativas. El conflicto había activado de alguna forma procesos de revisión y de interpelación histórica en la zona, y, paralelamente, de identificación. En los talleres se explicitaban estas preocupaciones y necesidades que rondaban en torno a "conocer más del pasado local", pero también de "revalorizar a nuestros antiguos", "revitalizar los lazos sociales debilitados", "recuperar la economía campesina", entre otros aspectos. La relevancia del indio en la historia local se traduce en la ambigüedad del reconocimiento de la ascendencia y de ciertas rupturas a partir de otras categorías estatales y de producción como la de "campesinos", con el agregado de una importante connotación política en los últimos tiempos. Es necesario romper con ciertas miradas reduccionistas que replican estas categorías en una deshistorización y que la contraponen a lo indígena. El cambio de categorías o etiquetas no significa la ruptura de las memorias y de las filiaciones que operan en un discurso más doméstico, donde lo indio puede cubrir una diversidad de connotaciones que van desde el salvajismo hasta el orgullo de la descendencia. En este sentido, los rastros arqueológicos que afloran en la superficie, logran ser la evidencia ambigua de "la extinción" y de "los antepasados".

El trabajo genealógico también logró recuperar trayectorias de los sujetos en distintos territorios, las migraciones estacionales y los campamentos del obraje que generaban sentidos contradictorios en relación a la posibilidad de trabajo y al mismo tiempo de destrucción del monte nativo. También se recuperaron las formas de producción y reproducción material a partir de los trabajos realizados y los quiebres producidos por los cambios en las condiciones ambientales del territorio y las migraciones a las ciudades.

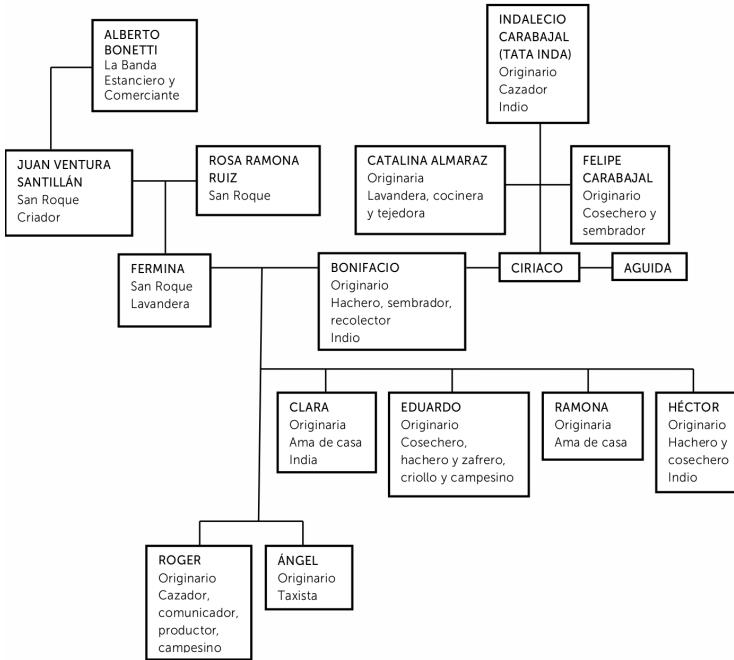
Este trabajo de visibilización de las memorias locales se fue articulando con el trabajo documental. La exploración en dis-



tintos archivos (principalmente el de la Dirección Provincial de Catastro y el Archivo Histórico de la Provincia) fue vital para cruzar información respecto a las técnicas anteriores y encontrar, por ejemplo, la primera mensura de Pozo del Castaño en 1897; además, se pudo identificar, a partir de la descripción del agrimensor de dicha mensura, la presencia de meleros en la zona, que hacían uso de esos territorios en tiempos anteriores a la llegada del Estado y de la presencia de la primera estancia criolla. Esto nos permitió contar con indicios para trazar cierta continuidad en la ocupación territorial. Entendemos que estos meleros constituyen parte de los ancestros de los actuales campesinos, identificados como indios, que pudieron servir como mano de obra en la estancia y convertirse, -a través de su descendencia,- en los hacheros de los obrajes. Esta conjetura construida con base al trabajo con documentación catastral, junto a la evidencia histórica en el espacio -como los todavía presentes viejos pozos de agua ya identificados por el ingeniero a fines del XIX-, sumados a los registros censales del departamento Figueroa (los dos censos nacionales del S. XIX) y a los relatos actuales nos ayudan a sostener la presencia histórica de las familias campesinas en el territorio.

El gráfico que se muestra a continuación representa de manera simplificada uno de los árboles genealógicos trabajados con la comunidad. Las menciones a "originario/a" refieren al lugar de nacimiento de cada individuo. Por otra parte, es necesario aclarar que los mismos agujeros de la memoria (Bastide, 1970) hacen imposible la explicitación de fechas precisas para cada una de las generaciones.

Árbol genealógico de parte de la familia Almaraz. Se extiende, estimativamente, desde finales del siglo XIX y principios del siglo XX hasta el presente.



Fuente: Elaboración conjunta con la familia Almaraz y otros pobladores

### Del problema de conocimiento a la evidencia jurídica.

La producción del conocimiento y la problematización entre memoria e identidad en un contexto de conflictos por los territorios necesita dar un paso más. Este paso cualitativamente necesario es el más problemático ya que implica convertir el dato científico, y aparentemente frío, en evidencia fundamen-

talmente válida en el plano jurídico, lo que significa entrar en disputa para interpelar otro campo, -quizás uno de los más desiguales,- como lo es el de la justicia. ¿Puede la voz de los históricamente “sin voz” traducirse en prueba judicial en un conflicto?, ¿acaso las representaciones estatales sobre el campesino y la campesina obturan la posibilidad de comprensión de otras lógicas de ocupación y uso territorial? El problema, más allá del agenciamiento de las comunidades, el repertorio de acciones colectivas de resistencia y de sus organizaciones que ya tienen un largo recorrido, tiene otros dos aspectos que deben integrarse. El primero y fundamental por una cuestión de derechos es la necesidad de contar con una legislación específica. Como dijimos al comienzo, el actual campesinado, al no estar cubierto por ninguna legislación que contemple su situación como sujeto colectivo (en un futuro habrá que analizar los alcances en cada país de los derechos de las y los campesinos declarados por la ONU) y al no contemplarse desde el Estado particularidades productivas, culturales ni lingüísticas, los conflictos son resueltos judicialmente sin ninguna prerrogativa, y es la vía por la que, en muchos casos, terminan perdiendo sus derechos posesorios.

Además, a diferencia de los pueblos originarios que poseen reconocimiento constitucional y una serie de leyes en distintos ámbitos, el “indiferenciado campesinado” étnicamente desmarcado y generalmente folklorizado en su representación hegemónica, no goza de derechos similares. El efecto de esta representación, -que reconoce superficialmente diversidad cultural y lingüística-, es la profundización del ocultamiento de las desigualdades estructurales e históricas.

El segundo aspecto a integrar, es la posibilidad de trabajar desde las ciencias sociales con el propósito de convertir en prueba aquellos datos que puedan determinar la presencia histórica de las familias en el territorio. En este caso, el encuadre histórico nutrido por las propias memorias nativas junto

a la evidencia documental (sabemos que para la justicia es la principal fuente de prueba) debería convertirse en el elemento de legitimación del campesinado. Además del trabajo de archivo en la búsqueda de mensuras, censos y otros registros que comprendan los apellidos de las familias campesinas o que muestren la dinámica política y económica en el medio rural, junto al mercado de tierras y a la mano de obra en esas zonas, la reconstrucción del pasado de la comunidad a partir del árbol genealógico viene a complementar y situar la perspectiva nativa sobre el territorio. El reconocimiento no solo de su ascendencia, sino también de las propias concepciones sobre el espacio-tiempo, el reconocimiento del pasado indígena, la reproducción material y simbólica de las familias a partir de los recursos del monte y la necesidad de revitalizar lazos que observan debilitados, constituyen solo algunos de los aspectos desde los cuales pueden contribuir el conocimiento histórico y el trabajo con las memorias locales.

Por ello, el valor de esta propuesta metodológica reside en dar visibilidad a una historia en el territorio y una identificación negada y subestimada, muchas veces, por los mismos pobladores, para advertir procesos de ruptura con el pasado, pero también de reconocimiento y valoración en las circunstancias de conflicto. Es decir, como campesinos/as pueden interpelar(se) en situaciones de tensiones y disputas. De esta manera, el valor instrumental del conocimiento producido reside en su capacidad para interpelar sentidos en el campo judicial.

Cabe aclarar que todo esto no tendría un efecto estructural si no pensamos seriamente en una reestructuración de los organismos del Estado, donde áreas tan sensibles como la justicia y la educación puedan capacitarse y formar desde una perspectiva intercultural, es decir, centrada en la diversidad, y desde allí romper prejuicios profundos a partir de un necesario y verdadero trabajo de inclusión que reconozca la pluralidad y las desigualdades que suelen reproducirse en estos ámbitos. El

discurso de la diversidad como propaganda de origen neoliberal, que funcionan como slogans circunstanciales, no alcanza para este proyecto, y es en este punto donde las ciencias sociales tienen algo para decir y contribuir con las organizaciones campesinas/indígenas.

## Bibliografía

- Balibar, Étienne (1991). "La forma nación: Historia e ideología". En Wallerstein y Balibar *Raza, Nación y Clase*, (pp. 135-167). Madrid: Iepala.
- Barbetta, Pablo (2009). *En los bordes de lo jurídico. Conflicto por la tenencia legal de la tierra en Santiago del Estero* (Tesis de doctorado). Universidad de Buenos Aires.
- Barth, Fredrik (1976). *Los grupos étnicos y sus fronteras. La organización social de las diferencias culturales*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bastide, R. (1970). "Memoria colectiva y sociología del bricolage". *Anuario sociológico* (21), 65-108.
- Bonetti, Carlos (2016). *Memorias y alteridades indias. Discursos y marcas indígenas en zonas rurales de Santiago del Estero*. San Miguel de Tucumán: Humanitas.
- \_\_\_\_\_ (2019). *Tierras y territorios en el chaco santiagueño. Antropología de los conflictos del campesinado en Pozo del Castaño*. Santiago del Estero: Bellas Alas.
- \_\_\_\_\_ (2020). "Memoria, historia e identidad en el contexto de conflictos territoriales: El caso de Pozo del Castaño, Santiago del Estero". *Tramas Maepova* (8), 51-65.
- Bravo, Domingo (1942). *Cuadernos de impresiones*. Santiago del Estero: Yusseem
- Candau, Joel (2008). *Identidad y memoria*. Buenos Aires: Del Sol.
- Das, Veena; Poole, Deborah (2008). "El estado y sus márgenes. Etnografías comparadas". *Cuadernos de Antropología Social* (27), 19-52.
- De Dios, Rubén (2004). "Movimiento agrario y lucha social. El caso del movimiento campesino en Santiago del Estero". En P. Lenguita, y G. Galafassi (coords.), *Nuevas prácticas políticas insumidas an Argentina: aprendizaje para Latinoamérica* (pp. 243-269). Colección Insumos latinoamericanos.
- \_\_\_\_\_ (2010). "Los campesinos santiagueños y su lucha por una sociedad diferente". En Pereyra, B y Vommaro, P

- (comps.), *Movimientos Sociales y derechos Humanos en Argentina* (pp.25-46). Buenos Aires: CICCUS.
- De la Cadena, Marisol (2006). "¿Son los mestizos híbridos? Las políticas conceptuales de las identidades andinas". *Universitas humanística* (61), 51-84.
- Fazio, Lorenzo (1889). *Memoria descriptiva de la provincia de Santiago del Estero*. Buenos Aires: Compañía Sudamericana de Billetes de Banco.
- Gancedo, Alejandro (1885). *Memoria descriptiva de Santiago del Estero*. Buenos Aires: De Stiller & Laass.
- Halbwachs, Maurice ([1950] 2011). *La Memoria Colectiva*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Jara, Cristian (2014). "La dimensión ecológica de las luchas campesinas. Disputas en torno al Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos en Santiago del Estero". *Trabajo y Sociedad* (23), 389-405. <https://www.unse.edu.ar/trabajosociedad/23%20JARA%20Luchas%20Campesinas%20Ecologicas.pdf>
- (2020). "¿Acompañar o dirigir? El papel de actores católicos en la conformación de un movimiento campesino en Argentina". *Revista Virtual Universidad Católica del Norte* (61), 251-266.
- Moreno Saravia, M. (1938). *Escuela y patriotismo*. Santiago del Estero: Tipografía Zampieri.
- Paz, Raúl (2013). "Explotaciones sin límites definidos y desarrollo rural en Santiago del Estero. Hacia un ordenamiento territorial". *Realidad Económica* (277), 109-128.
- REDAF. (2013) *Conflictos sobre tenencia de tierra y ambientales en la región del Chaco argentino*. 3° informe. Reconquista: Fundación Río Paraná.
- Scott, James (2004). *Los dominados y el arte de la resistencia*. México: Ediciones Era.
- Tebes, Mario (2009). *CastañumantaYuyayniy. Ni los años ni la distancia*. Buenos Aires: Dunken.
- Zemelman, Hugo (2006). *El conocimiento como desafío posible*. México: Instituto Politécnico Nacional

DESARROLLO ECONÓMICO. CRECIMIENTO,  
CAMBIO ESTRUCTURAL Y DESIGUALDAD EN REGIONES  
SUBCAPITALIZADAS DE LA PERIFERIA.  
EL CASO DE SANTIAGO DEL ESTERO

MARÍA NOELIA GURMENDI<sup>1</sup>; JORGE LUIS SILVETI<sup>2</sup>

## Resumen

El presente trabajo ofrece algunos conceptos importantes y hallazgos relevantes en relación con la particular evolución de las regiones subcapitalizadas de la periferia capitalista. Apunta especialmente a aquellos territorios latinoamericanos que nunca lograron un adecuado nivel de acumulación de capital y, sin embargo, sufrieron transiciones que modificaron sus estructuras productivas. Para ello, se toma como caso particular de estudio a la provincia Santiago del Estero, en un recorte de su sociedad y su economía vinculados al desarrollo, con foco en las dimensiones tanto de la igualdad como del cambio estructural, en el período comprendido entre la última década del siglo pasado y la primera del presente siglo.

El estudio de este tipo de sociedades no ha sido abordado,

1 INDES/CONICET, FHCSyS, UNSE

2 CEDEP, FHCSyS, UNSE.



como objeto particular, por ninguna escuela de pensamiento. Incluso el *Neoestructuralismo Latinoamericano*, utilizado como marco teórico en este trabajo -debido a su mayor proximidad a la problemática-, se enfoca en sociedades con *despegue tardío* e *industrialización truncada*. Santiago del Estero, en sentido estricto, no representa una economía tradicional o agrícola, pero tampoco alcanzó a *despegar* en términos de estándares de modernidad, con la crónica debilidad de su sector industrial.

El período fue seleccionado en virtud a que permite examinar dos proyectos de política social y económica contrapuestos y porque la etapa presenta todas las fases que integran un ciclo económico completo: recuperación, auge, depresión, crisis y nuevamente recuperación.

La investigación persigue, como objetivo general, la identificación de factores macroeconómicos y estructurales relevantes, referidos a explicar los obstáculos que presenta la economía santiagueña para enfrentar el desafío del desarrollo, en sus dimensiones cardinales de crecimiento, estabilidad, cambio estructural e igualdad.

La metodología adoptada para el estudio es cuantitativa con base en las siguientes herramientas: el procedimiento de estadística regresiva y econometría conocido como *test Chow*; la técnica de regresiones segmentadas que provee el *software* estadístico *Joinpoint 04* y la fórmula de *Fabricant*, además de funciones de la estadística descriptiva e inferencial.

Como conclusión, es posible afirmar que el cambio estructural del año 2004 no estuvo estratégicamente orientado al desarrollo. Se descuidaron los sectores intensivos en tecnología, que resultan ser el núcleo de la etapa de expansión cinética y del cambio estructural virtuoso.

Palabras claves: Desarrollo; Crecimiento económico; Cambio estructural; Igualdad.

## Abstract

This paper offers some important concepts and relevant findings in relation to the particular evolution of the undercapitalized regions of the capitalist periphery. It especially targets those Latin American territories that never achieved an adequate level of capital accumulation and yet suffered transitions that modified their productive structures. For this, the Santiago del Estero province is taken as a particular case of study, in a cut of its society and economy linked to development, with a focus on the dimensions of both equality and structural change, in the period between the last decade of the last century and the first of the present century.

The study of this type of society has not been approached, as a particular object, by any school of thought. Even Latin American Neo-structuralism, used as a theoretical framework in this work -because of its greater proximity to the problem-, focuses on societies with late start-up and truncated industrialization. Santiago del Estero, strictly speaking, does not represent a traditional or agricultural economy, but neither did it succeed in taking off in terms of modernity standards, with the chronic weakness of its industrial sector.

The time period was selected because it allows us to examine two opposing social and economic policy projects and because the stage presents all the phases that make up a complete economic cycle: recovery, boom, depression, crisis and again recovery.

The research pursues, as a general objective, the identification of relevant macroeconomic and structural factors, in relation to explaining the obstacles presented by the Santiago

economy to face the challenge of development, in its cardinal dimensions of growth, stability, structural change and equality.

The method adopted for the study is regressive statistics and econometrics known as the Chow test; the segmented regression technique of the Joinpoint 04 statistical software and the Fabricant formula were the main methodological procedures used -in addition to the basic ones of descriptive and inferential statistics-.

**Keywords:** Development; Economic growth; Structural change; Equality

## **Introducción**

El presente trabajo es un extracto de un proyecto de investigación más amplio y que, concretamente, se encuentra conformado por la presentación de dos conceptos importantes y ciertos hallazgos relevantes, surgidos del examen de la evolución y de las características que tuvieron la economía y el empleo en Santiago del Estero entre la última década del siglo XX y la primera del presente siglo. La cuestión se enmarca en la problemática que enfrentan las sociedades rezagadas insertas en regiones periféricas del capitalismo global, con relación a sus dificultades para promover el cambio estructural con igualdad, engranaje central del desarrollo.

La delimitación del período de análisis responde a la posibilidad de comparar el desempeño de dos estrategias económicas contrapuestas, pero llevadas a cabo -a nivel nacional-, por un mismo partido político: el peronismo. Además, integra las fases de un ciclo económico completo: crecimiento, auge, depresión, crisis y recuperación.

El desarrollo como disciplina y los postulados de la corriente neoestructuralista -surgida a partir de 1990 dentro de la Escuela Estructuralista de la CEPAL- constituyen el principal *corpus* teórico-metodológico. Dentro de él se destacan las dimensiones del cambio estructural y de la igualdad como los ejes vertebradores de la obra.

Una de las características principales de las regiones marginales del capitalismo periférico, como Santiago del Estero, es su dificultad para generar empleo productivo derivado de la incapacidad de alcanzar niveles adecuados de formación de capital. La debilidad del sector industrial, en la estructura productiva y del empleo, trasciende justamente en una deficiente demanda de mano de obra que, junto a la imposibilidad del sector rural de retener su fuerza de trabajo, conduce a la población excedente a buscar refugio en el sector servicios, dando lugar al proceso que en el presente trabajo se denomina: *terciarización forzada*<sup>3</sup>.

La estructura productiva de Santiago del Estero se caracteriza por un importante sector agropecuario segmentado, con una reducida productividad de la mano de obra y, como se acaba de expresar, incapaz de retener a su población. Esta particular configuración se asemeja a las sociedades tradicionales en las etapas tempranas de la transición hacia la modernidad. Pero *contrario sensu* también se observa un significativo sector terciario, propio de las sociedades posindustriales. ¿Cómo se explica esta aparente contradicción?

En la transición hacia el desarrollo, el crecimiento del sector servicios se origina como complemento del sector manufacturero. En oposición, en las regiones pobres, la población proveniente del sector rural se refugia en el sector servicios,

3 Este concepto, debido a su importancia, se definirá y profundizará *ut infra*.

principalmente en empleos precarios, al no encontrar cabida en el empleo privado formal. El cambio estructural devenido de este tipo de transición (denominada en el presente estudio como "*degenerativa*"<sup>4</sup>) no logra mejorar la productividad, ni el nivel de bienestar social (Escaith, 2006).

En función de lo señalado, importa mencionar que Santiago del Estero presenta una estructura productiva y de empleo rezagada y de reducido tamaño. No constituye una economía tradicional o agrícola, pero tampoco pudo alcanzar un mínimo desarrollo industrial, por lo tanto, no existen enclaves tecnológicos de alta productividad. Sin embargo, puede observarse que se produjeron en el período bajo análisis ciertas transformaciones basadas primordialmente en la transferencia de recursos del sector primario a los sectores de construcción y de servicios de baja productividad. A su vez, una tardía transición demográfica dejó sus huellas con características tales como migración, baja en las tasas de mortalidad, aumento en las de natalidad y altas concentraciones urbanas.

Lo cierto es que la incapacidad de absorber empleo, producto de una débil estructura productiva, se presenta como un rasgo insoslayable para comprender la realidad social de la provincia de Santiago del Estero. Debido a la escasa formación de capital, el sector servicios emerge como el receptor del empleo excedente, pero en ocupaciones de baja productividad, institucionalidad y remuneraciones. Esta terciarización no es la que se da de forma "*virtuosa*", que responde a la demanda de los sectores dinámicos de alta productividad, sino que es una terciarización "*forzada*", que sirve de refugio al excedente de oferta laboral proveniente del sector rural.

4 En el apartado "La terciarización forzada en la transición degenerativa" se fundamenta el concepto.

La estructura productiva provincial experimentó en las últimas décadas del siglo XX una caída en la participación de la producción primaria, proceso que se extiende hasta la mega-devaluación de 2002: del 30,9% de participación en el Producto Bruto Provincial en 1970 se pasó al 22,4% en 1980 (INDEC, 1999), para descender hasta representar el 10% en la década de los noventa (Dirección de Estadística y Censos, 1983). En la *posconvertibilidad* adquirió un peso mayor como fruto de la reestructuración de precios y, a fines del período bajo estudio, representaba poco menos del 20% de la economía provincial (CFI, 2008a).

Asimismo, la participación del empleo agropecuario disminuye del 29% en 1994 al 21% en 2007. Y no es el empleo en la industria justamente quien absorbe la caída, sino el sector servicios, ya que la propia industria reduce su incidencia en el empleo del 8,1% al 6,8%, mientras que el sector terciario es quien crece del 52% al 61% en el mismo período (*ibid.*).

Santiago del Estero es una provincia típicamente subindustrializada. De acuerdo con estudios provinciales con datos del Producto Bruto Provincial (PBP) entre 1970 y 2010 (Dirección de Estadística y Censos, 1983; INDEC, 1999; CFI, 2008b), el sector manufacturero nunca pudo superar el 9% de participación en el valor agregado provincial. Se mantuvo estable en torno al 6% y 7%, mientras que en el país fue del 20% promedio. La brecha en relación con el peso del sector industrial a nivel nacional (levemente divergente) da cuenta del rezago del sector en Santiago del Estero para todo el período mencionado.

El PBP a precios corrientes del sector de la industria manufacturera tuvo un crecimiento escaso en la década de 1970, a un ritmo del 3,4% anual, por encima de solo dos sectores: agricultura (1%) y comercio (-0,5%) y muy por debajo de construcción (13,8%) (DGIeYC, 1982). En el ámbito de la región NOA, la industria manufacturera provincial cayó en su participación del 6,4% al 5% en igual período. A nivel país, la participación

industrial de la provincia es exigua y de un comportamiento oscilante. Del 0,18% en 1970, pasó al 0,21% en 1980; en 1994 se encontraba en el 0,33% y fue disminuyendo paulatinamente hasta el 0,29% en 2007.

Ante la fragilidad en la absorción sostenible y productiva de mano de obra, propia de la debilidad del sector manufacturero, la mano de obra excedente tuvo dos destinos: migrar buscando horizontes laborales que la provincia no ofrecía o la inserción forzada en el sector terciario en condiciones de baja productividad y elevada precariedad.<sup>5</sup>

Lo cierto es que la estructura productiva en Santiago del Estero ha sido incapaz de absorber empleo para sostener el crecimiento de la PEA<sup>6</sup>. Así es como se observa una alta volatilidad en los niveles de crecimiento y un escaso dinamismo productivo.

El año 2002 se presenta como el posible año de quiebre tendencial. La convertibilidad llegaba a su fin y, a partir del choque devaluativo de ese año, comienza una nueva etapa, marcada por otro tipo de estrategia económica. En un contexto de crecimiento, política fiscal expansiva –con un fuerte empuje de la obra pública- y monetaria laxa<sup>7</sup>, se dio el espacio para

5 En una primera etapa que culminó a mediados del siglo pasado, la población expulsada por el sector rural emigró hacia las grandes ciudades del país y se asentó en los cordones industriales. Cuando el proceso de sustitución de importaciones se truncó a nivel nacional y el proceso de acumulación de capital se estancó a mediados de la década de 1970, la población excedente generó estrategias de supervivencia, migró desde el campo hacia las ciudades cercanas y se insertó en el sector terciario, con empleos e ingresos precarios. La productividad exigua, los niveles de pobreza, la concentración urbana y la desigualdad acompañaron el proceso.

6 Se refiere a la Población Económicamente Activa, conformada por todos aquellos que están en edad de trabajar, pueden hacerlo y manifiestan la voluntad de tener una ocupación. Es decir, la PEA agrupa a los que se encuentran ocupados y desocupados.

7 En especial a partir de 2010, con creciente dominancia fiscal.

que emergieran las demandas sociales, contenidas durante la década de los noventa, y se tendiera a una mayor igualdad, inclusión y mejora en la distribución del ingreso, con cambios normativos orientados a ese fin.

La provincia, a partir de la Intervención Federal del año 2004, y luego con el nuevo gobierno democrático en 2005, se adhirió incondicionalmente a la propuesta. Se produjo una gran expansión de los montos de la coparticipación federal de impuestos y una fuerte inversión en infraestructura y obra pública, a niveles récord, beneficiada por gastos directos de Nación.

### **Preguntas de investigación, objetivos e hipótesis**

Con base en los temas planteados, que son referenciales de la transición socioeconómica que experimentó Santiago del Estero en el período bajo estudio, en particular en la *posconvertibilidad*, surgieron un conjunto de interrogantes a partir de los cuales se estructuró la investigación y que se presentan a continuación:

El ciclo de expansión económica que se inició en 2003, ¿produjo un cambio estructural? ¿Qué sectores han concentrado el progreso técnico y cuáles han sido expulsores o generadores de empleo? ¿Qué categorías de empleo han prevalecido? ¿Cuál fue la evolución del empleo informal y del formal? ¿Hubo una disminución en la segmentación laboral y mejoras en la institucionalidad laboral? ¿El crecimiento ha permitido mejorar la distribución del ingreso?

¿Qué actividades prevalecieron y en cuáles hubo una mejora en la productividad? La mejora en la productividad, ¿estuvo acompañada de aumento de empleo? La reflexión sobre las cuestiones presentadas y el planteo para dar satisfacción a las mismas permitieron ir dando cuerpo a lo que se constituye



como el objetivo general del trabajo:

- Analizar los principales factores macroeconómicos y estructurales que inciden en el desarrollo económico, a través del estudio de los vínculos entre crecimiento, mercado de trabajo, cambio estructural y desigualdad, en el caso particular de Santiago del Estero, en el período 1994-2007.

En ese sentido, se plantean como objetivos específicos los siguientes:

- Caracterizar la evolución de la estructura productiva y del empleo en Santiago del Estero entre 1994 y 2007, para determinar si se produjo cambio estructural, sus causas y sus consecuencias en la estructura productiva, del empleo y distribución del ingreso.
- Determinar los sectores dinámicos de la estructura productiva en cuanto a progreso técnico y generación de empleo, por categoría de ocupación.
- Describir los cambios en la desigualdad a través del análisis de la productividad, la evolución del trabajo formal, la dinámica del salario y la distribución del ingreso.

Por otro lado, las hipótesis de la investigación son las siguientes:

- El cambio estructural, fruto de la devaluación del año 2002, con la modificación de la estrategia económica, el crecimiento de la economía, las reformas institucionales y el gasto en obra pública e infraestructura, impulsadas en la provincia para alcanzar la meta del desarrollo inclusivo, no lograron reducir la desigualdad preexistente en los niveles de empleo formal (intra e intersectorial), en los niveles de productividad entre sectores, en la distribución funcional del ingreso como tampoco en la distribución del ingreso por categorías ocupacionales en Santiago del Estero en el período.

- La teoría del derrame o *"trickle-down"*<sup>8</sup> no se cumple: el crecimiento, el cambio normativo o institucional, el gasto en obra pública y la inversión en infraestructura no fueron suficientes para morigerar la desigualdad.
- El cambio estructural no estuvo estratégicamente orientado hacia el desarrollo.

### Justificación y herramientas metodológicas

El período bajo estudio fue escogido por la posibilidad de que en el mismo se haya producido cambio estructural virtuoso, propicio para el desarrollo económico<sup>9</sup>, a partir de la caída de la convertibilidad en 2001/2002. A su vez, como se expresara anteriormente, permite comparar el desempeño de dos estrategias económicas contrapuestas, justamente a partir de este punto de eventual quiebre tendencial.

El período también resulta interesante dado que integra las distintas fases de un ciclo económico completo: crecimiento, auge, depresión, crisis y recuperación. A partir del Plan de Convertibilidad, y hasta el año 1995, se produce la fase de recuperación. Con el impacto global conocido como el "efecto

8 Existen firmes cuestionamientos respecto a la legitimidad argumental de la denominada *"teoría del derrame"*. No se pretende entrar en esta discusión. Solo se nombra esta *"teoría"* con el fin de traer a colación la relación básica que sostiene, es decir, la disminución en la pobreza que genera el crecimiento económico, incluso con un patrón de acumulación concentrador.

9 "El gasto de capital de los gobiernos centrales que publica la CEPAL nos permite afirmar que la performance argentina en materia de inversión pública ha sido muy superior al promedio de la región desde 2003, lo que destaca a su vez la fortaleza de la política de desarrollo endógeno propiciada por el Gobierno Nacional en el período bajo análisis" (Ministerio de Economía y Finanzas, 2011, pág. 10).

tequila” comienza la fase de auge, con mayor volatilidad, mientras que continúa el crecimiento (pero a tasa decreciente). El punto de cima o cúspide se produce en 1998, el cual indica el inicio de la fase de depresión, que se extiende hasta la fase de crisis de 2001/2002. A partir de 2003, la economía retoma el ritmo de crecimiento a tasa creciente, bajo una nueva fase de recuperación, hasta 2007. Luego se produciría un nuevo choque externo: la crisis de las hipotecas *subprime* en 2008, que dio comienzo a la fase de auge de la posconvertibilidad, con creciente inestabilidad macroeconómica y crecimiento a tasa decreciente.

Esta nueva etapa de la economía nacional -que en esta investigación se denominará *posconvertibilidad* (Gurmendi y Silveti, 2021), englobaba una serie de cambios en las reglas macroeconómicas, entre las cuales se destacan, por su relación al objeto de investigación y al período analizado, las siguientes (Wainer, 2018):

a) Un tipo de cambio alto y competitivo que produjo una modificación de precios relativos, con un inmediato efecto favorable en la cuenta fiscal y comercial.

b) Los sectores intensivos en mano de obra mejoraron su competitividad debido al reacomodamiento de precios relativos. Se produjo un incremento de los sectores productores de bienes transables, en especial los vinculados a la sustitución de importaciones en relación a los productores de bienes no transables.

c) La estabilidad macroeconómica fue un pilar del modelo. Balanzas gemelas -fiscal y comercial- superavitarias, con un fuerte superávit comercial que trepó a más de 10 mil millones de dólares en 2007; tanto la Nación como la provincia presentaron superávit fiscal primario (2,3% y 3,9% del PBI para Nación, los años 2003 y 2004 respectivamente). La inflación nacional se mantuvo controlada en los primeros años: 3,7% en 2003; 6,1% en 2004; 12,3% en 2005; 9,8% en 2006 y 8,8% en 2007.

d) Las exportaciones y el consumo pasaron a dinamizar la demanda global. Las exportaciones crecieron un 80% entre 2002 y 2006.

e) Mayor presencia del Estado en la economía, indicada por un mayor gasto en edificación e inversión en infraestructura, en transferencias y subsidios, incluso en recuperación de empresas privatizadas y alentada por el menor peso de la deuda a partir del 2005, debido el denominado "megacanje" de la deuda externa.

f) Como resultado de los cambios y de las condiciones económicas internacionales favorables en los precios de las exportaciones, el producto nacional verifica una fuerte expansión. En 2003 comienza un período de crecimiento del PBI: 8,8% en 2003; 9% en 2004; 9,2% en 2005; 8,5% en 2006 y 8,7% en 2007, luego de la caída pronunciada de más del 10% en 2002.

g) El efecto expansivo y la obra pública, sumados a políticas distributivas basadas en transferencias, lograron reducir rápidamente la pobreza desde un máximo del 53% en mayo de 2002 al 40,2% en 2004.

Sin embargo, a fines del período bajo estudio y, a pesar de las elevadas tasas de crecimiento, ciertos problemas de la economía persistían, especialmente los estructurales. El cambio de estrategia económica y de paradigma subyacente, sucedido a partir de la caída del Plan de Convertibilidad, no fue acompañado por estrategias de transformación tendientes a promover el desarrollo económico, lo cual condicionó la mejora en la distribución del ingreso y los niveles de trabajo "decente"<sup>10</sup>; la disminución de la concentración territorial y las brechas remu-

10 De acuerdo al concepto acuñado por la OIT, trabajo decente es aquel que genera un ingreso digno, facilita el progreso social y económico y fortalece a las personas, a sus familias y comunidades.

nerativas; el cambio virtuoso de la estructura productiva y del empleo, entre otros factores. -

Los principales procedimientos metodológicos utilizados, además de los básicos de la estadística descriptiva e inferencial, son los siguientes: el método de estadística regresiva y econometría conocido como *test de Chow*; la técnica de regresiones segmentadas del *software* estadístico *Joinpoint 04* y la fórmula de *Fabricant*.

### **Dos postulados teóricos en el escenario de las regiones subcapitalizadas**

En los puntos A y B que siguen, se exponen dos elaboraciones teóricas surgidas en el marco de la investigación y que son fundamentales para poder interpretar la realidad de estas regiones.

#### *El proceso de la Terciarización Forzada en la Transición Degenerativa*

En relación con el proceso de desarrollo económico, existen configuraciones de la estructura productiva vinculadas a diferentes tipos de cambio estructural, explicadas por los teóricos del desarrollo (Guillén Romo, 2005) y por el neoestructuralismo, las cuales serán referidas con el fin de explicar el proceso de la terciarización forzada.

Existen tipos de terciarización referidas a diversas transiciones. En el caso de la transición al desarrollo de los países centrales, es decir, aquellos que han alcanzado un nivel mayor en relación a riqueza material, igualdad y endogeneidad, la terciarización que se asocia a ella es la "complementaria". Un segundo tipo de terciarización se refiere a lo sucedido en los países latinoamericanos y tiene vinculación con el proceso de

industrialización iniciado tardíamente, basado en la sustitución de importaciones (ISI) y que en pocas décadas se agotó. Esta transición se coliga con la terciarización "sustitutiva".

Sin embargo, estos dos tipos de terciarización conocidos en la literatura especializada no reflejan lo sucedido en las regiones rezagadas dentro de los países periféricos, como el caso de la provincia de Santiago del Estero. Un rasgo que identifica a estas economías viene dado por su dificultad para generar las condiciones que promuevan niveles adecuados de formación de capital y alcanzar la etapa del "despegue" (Rostow, 1961). En ningún momento de su historia, Santiago del Estero logró rangos de "modernidad", en el sentido *lewisiano* de la expresión (Lewis, 1954).

La secular lasitud de su sector industrial derivó en una insuficiente demanda de mano de obra que, junto con la imposibilidad del sector rural de retener su fuerza de trabajo, condujo a la población excedente a buscar refugio en el sector servicios, lo que dio lugar a un tercer tipo de terciarización: la "terciarización forzada". Por un lado, se presenta un sector agropecuario con hegemonía de la economía familiar de subsistencia y una importante cuota en el producto total y en el empleo, pero con una reducida productividad del trabajo e incapaz de retener a su población, escenario clásico de las sociedades tradicionales en las etapas tempranas de la transición hacia la modernidad. Pero, también, se observa un significativo sector terciario, propio de las sociedades posindustriales. ¿Cómo se explica esta aparente discordancia?

Para comenzar a acercar una respuesta, el modelo proporcionado por Lewis en su obra seminal *Desarrollo con oferta ilimitada de mano de obra* (ibíd.), basado en la transición de una sociedad rural y pobre a otra moderna y de creciente productividad, puede resultar útil. Este tipo de transformación social se expone a partir de dos sectores: un sector primario con productividad marginal igual a cero y salario de subsistencia, y un

sector industrial con un salario mayor, que se nutre de la oferta abundante de mano de obra y que permite mejoras constantes en la productividad media y en la riqueza de la sociedad.

Cuando se agota la mano de obra excedente, es posible arribar, en estadios superiores al planteado por Lewis, a formas más evolucionadas basadas en estrategias de oferta sustentadas por la mejora tecnológica endógena. De tal forma que la productividad sigue en aumento y se genera un efecto sinérgico debido a que son las ramas dinámicas las que generan empleo, que, consecuentemente, permite establecer un sistema virtuoso en el cual el mundo del trabajo se constituye en la llave maestra de la igualdad (CEPAL, 2014). En este sentido, la competitividad sistémica juega un rol esencial para el paso hacia la industrialización por sustitución de exportaciones (ISE), hasta arribar finalmente a las "sociedades de conocimiento". Es lo que se conoce como el *continuum* desarrollista. Como se expresó, la terciarización complementaria es la que se halla asociada a este tipo de transición.

El otro tipo de transición mencionado, y que ha sido planteado por el neoestructuralismo, es la "industrialización trunca", que se utiliza para representar el proceso de modernización tardía que se dio en Latinoamérica (Fajnzylber, 1983). Este tipo de transformación se explica con base en el cambio estructural producto de discontinuas inyecciones de capital con fuerte componente extranjero, del tipo *stop & go*, lo cual origina un acelerado proceso de industrialización por ondas que no logra completarse ni extenderse por toda la economía.

La industrialización queda a mitad de camino y da lugar a una estructura productiva dual, conformada por enclaves de empresas extranjeras -y algunas de capital nacional- con alta productividad, y el resto del tejido productivo queda integrado por pequeñas y medianas empresas orientadas al mercado interno y a la producción de bienes "salario" (Canitrot, 1981), con fuerte dependencia tecnológica, de insumos y de capital. Esta

economía "semindustrial dependiente" (Ferrer, 2008), o "rentística de mercado interno" (Llach, 1987), se encuentra asociada a otro tipo de terciarización: "la terciarización sustitutiva".

En la "terciarización forzada", en cambio, no se generan inyecciones de capital y el sector industrial en ninguna etapa logra asumir el liderazgo -ni la variable inversión el rol dinamizador de la economía-, con una débil participación en la estructura productiva y del empleo. La población proveniente del sector rural se refugia en el sector servicios, en empleos precarios, al no encontrar cabida en el empleo privado formal. Se utiliza el término "degenerativa", dado que la transición "pierde" o "se desvía" de su normal desenvolvimiento hacia el desarrollo (Escaith, 2006).

En tal sentido, el cambio estructural que se produjo en estas regiones no fue aquel orientado al desarrollo, dado que en ningún momento logran emerger las ramas dinámicas que asumen el liderazgo del proceso (CEPAL, 2007). Estas están definidas por dos rasgos: la demanda creciente de sus productos en el tiempo y la elevada intensidad de su cambio tecnológico. El factor estructural, clave para posibilitar el desarrollo económico, consiste en la consolidación de actividades que conjuguen aumentos constantes de productividad con absorción neta de empleo (CEPAL, 2010).

El gradual afianzamiento de las ramas industriales dinámicas dentro de la estructura productiva produce el crecimiento de los servicios como su natural complemento, hasta arribar a las sociedades de conocimiento o posindustriales, basadas en el progreso técnico, la investigación científica y las TICs. Este proceso de transición revela cómo la transformación capitalista se inicia a partir de sociedades agrarias en cuya transición la inversión se constituye como la variable dinamizadora. El afianzamiento del sector industrial moviliza el empleo y aumenta la productividad, y también va permitiendo el surgimiento de empleo productivo en el sector servicios.



Recapitulando, el cambio estructural se origina a partir de economías tradicionales basadas en la producción primaria y tradicional. El proceso de transformación surge con el crecimiento del sector industrial urbano, que absorbe la mano de obra excedente, de baja productividad, del sector rural. La industria pasa a convertirse en el eje neurálgico del proceso de desarrollo, a través de su propio despliegue en aspectos claves, entre los cuales cabe mencionar su papel para mantener tenso el mercado de trabajo con mejora productiva e institucionalidad laboral y por los insumos, capital, tecnología y servicios que demanda de otras empresas, con la consecuente generación de redes e integración de sectores<sup>11</sup>.

Cuando el sector industrial no asume la función "dinamizadora" del desarrollo, sucede que el exceso de mano de obra rural busca refugio en el sector servicios, en actividades de baja productividad, especialmente empleo público, comercio, construcción, servicio doméstico, entre otros. Se transita de una sociedad con un importante sector agrícola familiar de subsistencia a una sociedad con creciente presencia de servicios, pero con hogares en igual condición de subsistencia. La deficiente tasa de ahorro e inversión es un factor relevante para entender el estancamiento de la productividad.

Para reforzar lo indicado, la transición degenerativa se produce a partir de la imposibilidad, por parte de las regiones marginales de la periferia, de generar las condiciones macroeconómicas necesarias para el despegue y para la modificación

11 Entre los bienes y servicios cuya demanda logra estimular resaltan tanto los insumos que elaboran otras empresas, así como los servicios básicos referidos a salud, educación y vivienda, y también las obras de infraestructura (en transporte y energía, por ejemplo). A su vez ayuda a promocionar la demanda en servicios de seguridad, comunicación, recursos financieros, bienes raíces, entre otros.

de los obstáculos estructurales. Así, se trata de identificar bajo aquel concepto a aquellas sociedades que no lograron, en ningún momento de su desenvolvimiento, concentraciones adecuadas de acumulación de capital. Su industria no logró niveles de participación significativos, tanto en el producto como en el empleo, y se recostó sobre ramas tradicionales o "naturales", basadas en actividades primarias e intensivas en mano de obra. El excedente de empleo encontró refugio en el sector servicios de baja productividad, que creció forzado por este mismo excedente en busca de subsistencia (Gurmendi y Silveti, 2021).

Otro factor que caracteriza la transición degenerativa se encuentra en la relación indirecta entre cambios en la productividad y absorción de empleo, producto de la escasa incorporación tecnológica y débil acumulación de capital. Es decir, las ramas de actividad que mejoran la productividad son, a su vez, las expulsoras de empleo. En oposición, las ramas que absorben empleo reducen su productividad.

El excedente de empleo, originado por la expulsión del sector primario incapaz de retener su mano de obra, se inserta forzosamente en el sector servicios, ante un sector industrial inerte. A medida que el sector agrícola disminuye su participación en el empleo, el sector servicios lo aumenta, mientras que la productividad del total de la economía permanece estancada, al igual que las remuneraciones del segmento secundario del mercado de trabajo (o el sector informal). Por lo tanto, se produce un empobrecimiento paulatino de la sociedad por el tipo de cambio estructural, donde las actividades que incrementan su productividad pierden participación en el empleo, el cual se va concentrando en ramas cuya productividad decae. La baja acumulación y, en consecuencia, la demanda insuficiente de trabajo se encuentran en los orígenes de este círculo vicioso. Como se expresó, el núcleo de esta forma de equilibrio de bajo nivel se encuentra en la baja formación de capital y esta deviene de la particular estructura productiva.

Otro rasgo característico de la "transición degenerativa" se da en relación a la falta de reacción y al efecto *histéresis* que actúa sobre el sector industrial, ante las fases de crecimiento y depresión de los ciclos. En este tipo de economías la fase de crecimiento no origina el mejoramiento del sector industrial, en el producto ni en el empleo, debido básicamente a su orientación al mercado interno -que además es pequeño, fragmentado y de escaso dinamismo-, y a la baja elasticidad ingreso de las ramas de mayor significación que lo integran. Frente a las depresiones presenta, asimismo, parecida inmovilidad y, luego de la fase de crisis, el sector industrial va perdiendo, lenta y gradualmente, institucionalidad en el empleo y significación en el producto.

### *La Igualdad como objetivo y exigencia: Ciudadano vs. Homo oeconomicus*

El restante concepto seleccionado debido a su importancia para el análisis se refiere a la igualdad. Respecto a la igualdad como concepto (CEPAL, 2014, pág. 13), este remite a otro término menos olvidado y más utilizado en la academia: la equidad. Y no es un descuido del neoestructuralismo de la CEPAL el énfasis en torno a la igualdad, sin mención a la equidad<sup>12</sup>. Al contrario, es justamente para resaltar la diferencia. Con esto, la CEPAL refuerza la distancia respecto a la corriente de pensa-

12 La equidad se edifica sobre el criterio de justicia distributiva: dar o brindar condiciones de manera desigual a individuos con diferentes cualidades, de acuerdo a sus merecimientos. La igualdad, en cambio, supone un trato igual a desiguales: otorgar idénticas oportunidades a todos los individuos. La igualdad no garantiza la justicia distributiva, sino que en ocasiones la lesiona.

miento dominante (tanto liberal como keynesiana) y reivindica su postura heterodoxa.

Es necesaria la referencia previa a la unidad de análisis, porque de allí se desprende lo que engloba la igualdad, que es el sello de la nueva identidad estructuralista cepalina y la diferencia basal con otras teorías. A partir de esta toma de posición, el esquema teórico va construyendo su andamiaje, que se profundiza en cada avance de la propuesta.

La unidad básica para el análisis dentro del pensamiento ortodoxo es el *homo oeconomicus*, que representa un tipo ideal, pero también una apuesta metodológica. El *homo oeconomicus* constituye un ser "hiperracional", cuyo único móvil es buscar su propio interés, alusivo al máximo beneficio, en el marco de mercados libres y concurrentes.

Si bien el concepto comienza a ser utilizado por los neoclásicos en el siglo XIX, se vincula a pensadores clásicos como Smith, Mill y Ricardo. En palabras de Adam Smith: "...cada individuo...no intenta promover el bien público...solo busca su propia ganancia...Tampoco es negativo para la sociedad que no sea parte de su intención, ya que persiguiendo su propio interés promueve el de la sociedad..." (1987, pág. 503).

La CEPAL toma distancia rescatando una nueva unidad de análisis -afianzado en la Revolución Francesa-: el ciudadano, sobre el que construye la arquitectura del nuevo modelo. Las dimensiones de la igualdad se desprenden naturalmente del hombre como ciudadano y no del agente económico de los modelos tradicionales. El hombre como "ciudadano" se diferencia del hombre como consumidor o cliente, el léxico que se fue legitimando con el capitalismo de masas (Ferullo, 2000).

El término *ciudadano* se acuña en la Revolución Francesa y representa un sujeto que posee ciertos derechos políticos, sociales y jurídicos inalienables. La plena participación política, mediante la libre elección de sus representantes; el acceso a determinados servicios sociales: salud, educación, vivienda,

trabajo; la igualdad ante la ley sin distinción de género, razas o clases; los derechos de los niños; la inclusión; la posibilidad de asociación, entre otros, conforman su cuerpo legal básico.

El *homo œconomicus*, considerado históricamente, se formaliza con la Teoría Neoclásica. La revolución marginalista se inicia en las últimas décadas del siglo XIX de la mano de los trabajos de William Stanley Jevons, Carl Menger y León Walras (Ekelund y Hébert, 1992).

En sus comienzos, aun cuando se propició la formalización matemática de la teoría económica, los supuestos del comportamiento de los agentes no surgían de una axiomatización *ad hoc*, sino de alguna doctrina filosófica particular. Por ejemplo, en el caso de Jevons (Jevons, 1957), sus raíces pertenecen al utilitarismo materialista de Bentham, quien proponía el placer y el dolor como los motivos básicos que mueven los actos humanos. En la teoría de Walras (Walras, 1987), con la defensa de la libertad de elección, a partir de la doctrina del *iusnatural*, o en la propuesta de Menger (Menger, 1983), con la visión aristotélica que utilizó para analizar la existencia de leyes exactas o naturales en economía.

Al tomar al ciudadano como unidad de análisis, la igualdad pasa a ser un objetivo central y natural y el Estado se instituye como un vehículo indispensable. Por el contrario, al asumir al *homo œconomicus* como unidad de análisis, entonces el *laissez faire* de mercado se constituye en el instrumento básico para garantizar el bienestar. El bienestar está asegurado por los mercados perfectos, la libertad de elección y el utilitarismo o racionalismo hedonista. De allí surge la preferencia del mercado frente al Estado, como también de la libre competencia frente a la intervención estatal y de la equidad respecto de la igualdad. El Estado es fundamental cuando se concibe al ciudadano como unidad de análisis. El mercado perfectamente competitivo, en cambio, es lo relevante cuando se utiliza el concepto de *homo œconomicus* (Ibidem, pág. 129).

En el esquema basado en la ciudadanía, la igualdad es una exigencia. Los derechos son consagrados y las políticas sociales están afianzadas como requisitos para este fin. De su elaboración y respeto se establecerá el cumplimiento de la meta: una mayor igualdad.

En el *modelo*<sup>13</sup> elaborado a partir del *homo oeconomicus*, la igualdad es un resultado no garantizado ni proyectado. La institucionalidad debe ser mínima: solo se requieren leyes que eviten el monopolio y que garanticen la defensa de la propiedad privada. En el capitalismo globalizado, el ser humano como consumidor es celebrado, en función a su poder y actitud de compra. Esta última, la actitud, es objeto constante de manipulación y de legitimación mediática. Los individuos que no responden a los estímulos -o con escasos recursos-, quedan invisibilizados y excluidos; así, resultan olvidados, despreciados o rechazados.

### **Resultados escogidos y hallazgos relevantes de la investigación**

A continuación, se presentan muy brevemente las respuestas a las diferentes hipótesis propuestas.

#### *Presencia de cambio estructural en el año 2004*

En este apartado se analizan los resultados de la aplicación del test de *Chow* y del software *Joint Point*, con el fin de verificar la

13 Se utiliza el concepto de modelo, en el sentido de que “no es más que una representación simplificada de la realidad” (Sampedro, 1961).

existencia de cambio estructural en la serie objeto de estudio. En este sentido y como resultado de la aplicación de los instrumentos estadísticos y econométricos, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) de estabilidad paramétrica. Por lo tanto, se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ) del modelo no restringido con la presencia de cambio estructural en el año 2004 en Santiago del Estero.

Es posible afirmar, a partir de ello, que el año 2004 marcó un quiebre de tendencia. A partir de allí se generó un contexto favorable, sostenido en el fuerte crecimiento de la economía santiagueña y acompañado por un marco de cierta estabilidad: una base macroeconómica indispensable para instrumentar la estrategia de desarrollo.

En la tabla 1 puede observarse que el cambio estructural se origina por el quiebre de la tendencia del crecimiento del producto y del empleo, en un marco de relativa estabilidad de precios. Se muestra un empinamiento de la tendencia de la regresión lineal de acuerdo con los resultados aportados por el *Joinpoint*: 1,97% en la etapa 1994-04 y 11,69% en la fase 2004-07 para el PBP a precios constantes. Asimismo, la creación de puestos de trabajo se duplicó. Entre 1994-2004 hubo un promedio de absorción anual de 6.541 puestos de trabajo (tasa de crecimiento anual igual a 0,8%) y, entre 2004-2007, de 13.916 puestos (tasa de crecimiento anual igual a 1,3%).

	1994-2004	2004-2007
Regresión: cambio porcentual anual PBP	1,97%	11,69%
Creación puestos de trabajo (tasa anual)	6.541 (0,8%)	13.916 (1,3%)
Aumento de precios (acumulado)	33%	55%

Tabla 1. Cambio estructural 2004. Crecimiento y precios  
Fuente: elaboración propia con base en el Informe PBP Santiago del Estero, 2º Etapa, 3er Informe, CFI (2008).

Si bien en el orden nacional, durante los primeros años de recuperación postconvertibilidad, la estabilidad de precios acompañó la recuperación, en la provincia de Santiago del Estero se verificó un leve pero gradual incremento de precios, luego de una década sin inflación. De acuerdo con el índice de precios implícitos (IPI), la secuencia anual del aumento de precios en la provincia, entre el 2004 y 2007, fue de 9,35%, 8,73%, 15,05% y 17,03% (CFI, 2013), que se originó por la recuperación de salarios del empleo público -y por la ponderación que el sector público posee en la provincia-, luego de la fuerte pérdida de poder adquisitivo verificada entre 2002 y 2003, causada por la megadevaluación del año 2001<sup>14</sup>.

14 Los precios escalaron en Santiago del Estero un 38,10% en 2002, de acuerdo al IPI, luego de un período de 8 años sin inflación (1994-2001), movidos por el incremento de los precios de los productos transables, que sufrieron el impacto de la megadevaluación. Los productos agropecuarios aumentaron su precio en 239,24%, mientras que los industriales lo hicieron en un 60,63%; el poder adquisitivo se derrumbó, dado que los salarios nominales cayeron levemente. La variación de precios por sectores, en 2002, arroja registros negativos para administración pública con



### *Profundización de las asimetrías*

El favorable contexto externo y la expansión de la economía no lograron modificar los indicadores de la desigualdad en la distribución primaria del ingreso ni reducir las brechas salariales, debido a que el cambio estructural producido no estuvo orientado a promover el desarrollo, como se expone en la hipótesis. Los indicadores analizados indican que se agravó la regresión en la distribución primaria del ingreso, se incrementó la brecha salarial entre asalariados registrados y asalariados no registrados y aumentó la precarización del empleo, mientras que la productividad del trabajo se mantuvo estancada.

En la tabla 2 se puede advertir el sesgo regresivo en la distribución del ingreso. Los beneficios empresariales -o excedente bruto de explotación (EBE)-, continuaron avanzando sobre los salarios. Los beneficios concentraban, en 2004, el 42% del ingreso y los salarios el 40%. En 2007, los beneficios treparon al 46% mientras los salarios cayeron al 38%<sup>15</sup>.

	2004	2007
Excedente bruto de explotación (EBE) en el ingreso provincial	42%	46%

---

un -6,49%, enseñanza con un -2,5% y salud con un -6,92%, entre los principales sectores de servicios (Silveti, Gurmendi y Salvatierra, Cambio estructural y desarrollo productivo en Santiago del Estero. Periodo 1994-2007., 2017).

<sup>15</sup> Además, en Santiago del Estero se registra una regresión en la distribución de los ingresos en toda la serie, ya que en 1994 los beneficios (EEB+IMB) se encontraban por debajo de las remuneraciones (RTA), 47% vs. 53%. A su vez, el año 2002 es el de menor participación de la RTA en el ingreso provincial: solo el 26% (Silveti y Gurmendi, 2020).

Retribución trabajo asalariado (RTA) en el ingreso provincial	40%	38%
Retribución trabajo asalariado en el ingreso promedio nacional	33%	39%
Asalariados no registrados (AnR). Tasa de crecimiento anual	1,34%	1,50%
Remuneración promedio anual asalariados registrados	\$14.413	\$22.482
Remuneración promedio anual asalariados no registrados	\$2.918	\$4.275
Salario relativo de provincia frente a nación		
- Sector rural	28%	24%
- Sector industrial	46%	44%
- Sector servicios	22%	19%
- Sector infraestructura	22%	23%

Tabla 2. Distribución primaria del ingreso, institucionalidad laboral y remuneraciones

Fuente: elaboración propia con base en el Informe PBP Santiago del Estero, 2da etapa, 4to Informe. CFI (2008).

Asimismo, la tendencia regresiva de los salarios frente a los beneficios en Santiago del Estero es constante y mayor que el promedio nacional. En 1994, Santiago del Estero poseía una sociedad marcadamente más igualitaria que el promedio nacional. En la provincia, la RTA (salarios) aglutinaba el 53% de los ingresos, mientras que la RTA a nivel nacional participaba con el 41%. Ya en el año 1999, igualan sus valores en el 41%, para culminar el 2007 con valores dispares: 38% para la provincia vs. 43% para nación.

Con respecto al impacto del cambio estructural del año 2004 en la distribución primaria del ingreso, comparando la

dinámica provincial con la nacional, se observa que, mientras en el promedio nacional se logra mejorar la distribución primaria del ingreso entre 2004-2007 -lo que llevó a la participación de los salarios en los ingresos totales del 33% al 39%-, en la provincia continuó el deterioro, pues se redujo la participación de la RTA del 40% al 38%.

En referencia a la institucionalidad laboral, el cambio estructural de 2004 no solo no logró mejorarla, sino que la agravó. La tasa de crecimiento anual 1994-2004 y 2004-2007 de los asalariados no registrados creció del 1,34% al 1,50%, respectivamente.

Asimismo, la desigualdad entre las remuneraciones de los empleos formales frente a las de los asalariados no registrados aumentó. La profunda brecha que separaba las remuneraciones de los asalariados registrados frente a las de los asalariados no registrados se amplió. En 2004, la diferencia representaba el 494%. En 2007, había crecido al 526%. En 2004, un asalariado registrado cobraba \$14.413 anuales promedio, frente a los \$2.918 de los no registrados. En 2007, y a pesar del contexto de firme recuperación salarial, la distancia entre asalariados registrados y no registrados aumentó al 526%, con salarios de \$22.482 para los primeros y de \$ 4.275 para los últimos.

A su vez, los salarios en Santiago del Estero son marcadamente inferiores respecto a los valores nacionales, característica que se acentuó en la etapa posterior al cambio estructural dado en el periodo 2004-2007. El análisis por sectores indica que, en 2004, la remuneración de un asalariado rural santiagueño representaba solo un 28% en relación al salario de un trabajador rural promedio nacional. En los 4 años posteriores al cambio estructural, el salario relativo rural cayó al 24%. En los sectores industrial y terciario, se repite el mismo cuadro de deterioro. En el sector industrial cae del 46% al 44%, mientras que en el terciario lo hace del 22% al 19%. Solo el sector infraestructura escapa a este escenario negativo, puesto que

creció del 22% al 23% (Silveti y Gurmendi, 2020).

### *Una falla básica del cambio estructural del año 2004 en relación al desarrollo*

El cambio estructural del año 2004, a partir de la recuperación del sector primario (alentado tanto por cuestiones exógenas como la mejora en los términos de intercambio y el progreso técnico en semillas y métodos de siembra, como por la nueva estrategia económica), fue rápidamente transmitido a los salarios. La recuperación salarial y del empleo fue de la mano del auge de la obra pública y del sector de la construcción en general. El crecimiento se produjo con base en el consumo. La realidad que plantean los enfoques de la "restricción externa", la "maldición de los recursos naturales" y la "dependencia del pasado o *path dependency*", entre otros, pueden ser utilizados para explicar el proceso (Silveti y Gurmendi, 2018).

Las economías con patrones de comercio recostados sobre sus recursos naturales se encuentran condicionadas para alcanzar el crecimiento potencial de su PBI, el pleno empleo y una tasa de inversión que implique mejoras constantes de productividad. Por lo tanto, resulta necesario comprender las limitaciones de un proyecto basado en sectores intensivos en recursos naturales y su incapacidad para constituirse en el núcleo y sostén del desarrollo.

La función de producción del agronegocio es intensiva en capital y tecnología y extensiva en mano de obra, con baja generación de empleo. En consecuencia, es una actividad productiva que no colabora *per se* con la inclusión, la difusión y la igualdad. El sistema de producción de la soja se apoya en la importación de tecnología y de capital. Representa un proceso de producción de tipo continuo, lo que resulta ser un condi-

cionante para la generación de aglomeraciones o *cluster*. La dificultad de descomponer en fases separables la producción, espacial o temporalmente, implica una menor densidad de relaciones y tercerizaciones, sin focos de conocimiento, ya que no fomentan la concentración territorial de empresas dependientes.

Los vínculos que pueden surgir a partir de funciones de producción intensivas en recursos naturales se complica por la *“technological strangeness”* (Hirschman, 2013, pág. 124). Los encadenamientos hacia atrás o hacia delante son endeble por las características y el nivel de complejidad propios del sector. Además, los sectores primarios poseen baja elasticidad ingreso de la demanda, alta concentración de la propiedad de los recursos, del ingreso y del poder.

Por otro lado, en el sector rural de Santiago del Estero prevalece la economía familiar de subsistencia. La función de producción asimilada a la misma es intensiva en mano de obra y de baja productividad. Su lazo con el mercado es débil y constituye la expulsora de población por antonomasia, debido a la alta natalidad y a la debilidad de crear puestos de trabajo, a su subcapitalización y consecuente precariedad.

Como conclusión de los tres puntos anteriores, es posible afirmar que el cambio estructural del año 2004 no estuvo estratégicamente orientado al desarrollo, tal como lo expresa la hipótesis. Se descuidaron los sectores intensivos en tecnología, que se consideran como el núcleo de la etapa de expansión cinética y del cambio estructural para el desarrollo<sup>16</sup>.

16 Estos sectores o actividades poseen una mayor y más rápida incorporación de progreso técnico, exigen niveles superiores y crecientes de aprendizaje, se asientan en ventajas comparativas dinámicas, promueven la difusión de conocimiento y externalidades que aumentan la productividad intrínseca y en el resto del sistema productivo.

*Política macroeconómica proexpansiva sin desarrollo industrial*

Lo sucedido en la economía provincial a la salida de la convertibilidad, con la delicada situación social marcada por la crisis y la megadevaluación, intentó compensarse en los años inmediatos posteriores con un masivo ingreso al sector público de agentes bajo modalidades contractuales precarias (contratos de locación de servicios), como también con gastos en obra pública e infraestructura y con subsidios y transferencias. A partir de 2005, los contratos de locación de servicios proliferaron como exclusiva puerta de entrada al sector público. Con foco en los grupos "vulnerables", se registraron aumentos remunerativos y políticas que incentivaron el empleo, con fuerte impacto en los niveles de actividad, en virtud a la propensión marginal a consumir de dichos grupos cercana a la unidad (cuando todo el ingreso se dedica al consumo y no existe capacidad de ahorro).

Así es que, luego del año 2004, los salarios se recuperaron rápidamente como producto de los convenios sindicales en las discusiones paritarias a nivel nacional. Sin embargo, la brecha salarial entre los sectores formal e informal persistió. Es importante apuntar que el sistema de convenios colectivos nacionales profundiza la segmentación del empleo a nivel de ciertas regiones descapitalizadas, dadas las condiciones de trabajo y los aumentos salariales que se establecen. De allí que los mercados alternativos, al margen de la ley, cobren relevancia. El sector informal o la economía en "negro" resulta incapaz de alcanzar tanto la estabilidad como los altos salarios y abonar los aportes y contribuciones establecidos por convenio<sup>17</sup>.

17 Esta segmentación se ve afectada, asimismo, por la falta del eslabón de una banca para el desarrollo o la inversión dentro del sistema financiero. El sesgo de la banca privada nacional a operar con líneas de crédito para consumo, junto a la inexistencia o es-

Ahora bien, el contexto de mayor crecimiento que se dio en la provincia a partir de 2004 -originado por el cambio de política, la mejora en los términos de intercambio y los adelantos tecnológicos en relación a la soja-, brindó un escenario macroeconómico de crecimiento con estabilidad, propicio para el desarrollo. Sin embargo, las políticas "proexpansivas", que "inflaron" el gasto, descuidaron el cambio estructural regido por la política industrial.

Una estrategia de diversificación de los productos de exportación con agregado de valor a largo plazo requiere de una macroeconomía que garantice un sendero de crecimiento sostenible y que se eliminen los comportamientos "proexpansionistas" (o procíclicos en la expansión).

Puede decirse que Santiago del Estero se encontraba, frente a este crecimiento estable desde el año 2004, en adecuadas condiciones para plantear una estrategia de largo plazo, con base en el cambio estructural asentado en actividades no tradicionales. Esto se veía apoyado en la presencia de rentas de los recursos naturales o "renta ricardiana" a raíz de los favorables términos de intercambio, de las mejoras tecnológicas en la soja y de un tipo de cambio elevado.

Asimismo, y si bien se cuestiona en este trabajo la desigualdad en la distribución del ingreso, la situación de bajos salarios y de elevada precarización, producto de una débil estructura productiva, podría ser aprovechada para sostener el crecimiento basado en la *cuasirenta* del trabajo abundante<sup>18</sup>. Sin

---

casez de préstamos para empresas dentro del sistema bancario, impide a las PyME regionales el acceso a créditos con tasas de interés adecuadas para promover la inversión.

<sup>18</sup> De hecho, Santiago del Estero figura como la provincia con el salario más bajo (diario El Cronista, sección Economía y política, del 3 de julio de 2021, consultado en línea el día: 3/7/21. URL: <https://www.cronista.com/economiapolitica/Ranking-en-que-provincias-de-la-Argentina-se-gana-mas-y-en-cuales->

embargo, la instancia de una propuesta de cambio estructural que privilegiara al sector industrial, en sus ramas dinámicas, no se produjo. La provincia se adhirió "apresuradamente" a las políticas "proexpansivas" nacionales, descuidando el entorno de largo plazo, necesario para la formación de capital.

Los rasgos seculares de subcapitalización y de atraso en la estructura productiva, concomitante con un mercado de trabajo heterogéneo, imbricados con equilibrios de bajo nivel y trampas de pobreza, exigen repensar el desarrollo no solo en términos de crecimiento, sino recreando la institucionalidad y promoviendo el cambio estructural. Son necesarias estrategias de largo plazo que presten atención a las dificultades que encierra la transición en sus aspectos económicos, sociales y ambientales.

El objetivo del desarrollo implica la visión de un futuro deseado. De allí que el desarrollo implique una posición comunitaria a partir de un Estado deliberativo que neutralice el poder de las elites. Resulta necesario transitar el cambio a largo plazo, importante para alcanzar el crecimiento estable, con cambio estructural endógeno, igualitario y sostenible, como condiciones concomitantes y no como resultados esperados.

El neoliberalismo en la década de 1970 proclamaba que los argumentos teóricos sostenidos por el estructuralismo eran falaces o de discutible comprobación empírica, y señalaba que el problema original consiste en que los países subdesarrollados tienden a la proexpansión, es decir, en la fase de crecimiento "inflan" su política monetaria y fiscal por encima de las posibilidades que le brinda el superávit de balanza comercial. Y, cuando comienzan a surgir las tensiones inflacionarias, mantienen el tipo de cambio fijo. Es decir, el "viento de cola" que genera la recuperación de la economía es transmitida rápidamente a los



salarios, lo que aumenta los costos internos e impide la maduración de actividades no tradicionales. La restricción externa se hace inevitable. Y no justamente por causa del diferencial de elasticidades o deterioro de términos de intercambio, sino por defectos internos de la política macroeconómica<sup>19</sup> (Silveti y Gurmendi, 2018).

La fragilidad del comercio exterior, fruto de términos de intercambio fluctuantes y tipos de cambio con tendencia a la apreciación en ciclo de crecimiento, va minando el balance comercial (**enfermedad holandesa**) y conduce a una matriz exportadora rígida basada en ventajas comparativas estáticas y especializada en recursos naturales. Este escenario deteriora la confianza de los mercados sobre la solvencia del sector público y deriva en expectativas devaluatorias por la escasez de divisas. La entrada y la salida de capitales, por su carácter naturalmente procíclico, agudizan la volatilidad y los choques.

19 Esta crítica posee semejanza a las reflexiones de la cúpula industrial argentina, de tono profético, efectuadas hace décadas: *“El momento del reparto recién llega cuando se han acumulado bienes; solo entonces los más menesterosos y necesitados podrán beneficiarse en grado máximo del esfuerzo de los más eficientes y afortunados. La República Argentina está en la edad del crecimiento; es una planta que todavía no ha florecido; podarla ahora no es vivificar sino corte dañino”* (Unión Industrial Argentina, 1944).

## Bibliografía

- Canitrot, A. (1981). Teoría y práctica del liberalismo, política antiinflacionaria y apertura económica en la Argentina 1976-1981. *Desarrollo económico*, XXI(82).
- CEPAL. (1996). Transformación productiva con equidad. La tarea prioritaria de América Latina y el Caribe en los años noventa. Santiago, Chile: CEPAL.
- CEPAL. (2007). *Progreso técnico y cambio estructural en América Latina*. Santiago de Chile.: CEPAL, Documento de trabajo, N° 136 (LC/W.136).
- CEPAL. (2010). *La Hora de la Igualdad*. Santiago, Chile: CEPAL.
- CEPAL. (2014). *Pactos para la igualdad. Hacia un futuro sostenible*. Lima: CEPAL.
- CFI. (2008a). *PBP Santiago del Estero, 1994/2007*. Buenos Aires: Consejo Federal de Inversiones.
- CFI. (2008b). *Producto Bruto Provincial. Informe Final. Santiago del Estero: 1994/2007*. CABA: Consejo Federal de Inversiones.
- CFI. (2010a). *Análisis de Insumo-Producto para Santiago del Estero*. CABA: Consejo Federal de Inversiones.
- CFI. (2013). *3er Informe Producto Bruto Geográfico para Santiago del Estero 2008-2012*. CABA: Consejo Federal de Inversiones.
- Consejo Federal de Inversiones. (2007). *Producto Bruto Provincial de la Provincia de Santiago del Estero: 1993-2005*. CABA: CFI.
- Consejo Federal de Inversiones. (2008b). *Producto Bruto Provincial. Santiago del Estero: 1994/2007. 3er informe 2da etapa*. CABA: CFI.
- DGIEyC. (1982). *Anuario estadístico de la provincia de Santiago del Estero*. Santiago del Estero: Dirección General de Investigaciones, Estadísticas y Censos.
- Dirección de Estadística y Censos. (1983). *Anuario Estadístico de Santiago del Estero*. Santiago del Estero: Dirección General de Investigaciones, Estadística y Censos del Ministerio

- de Economía de Santiago del Estero.
- Ekelund, R. y Hébert, R. (1992). *Historia de la teoría económica y su método*. 3ª Edición. . Madrid: Interamericana de España.
- Escaith, H. (de 2006). *Industrialización truncada y terciarización sustitutiva en América Latina*. (U. N. México, Ed.) *Problemas del desarrollo*. Revista latinoamericana de economía., 37(147), 45-80.
- Fajnzylber, F. (1983). *La industrialización trunca en América Latina*. Santiago, Chile: CEPAL.
- Ferrer, A. (1963). *La economía argentina. Las etapas de su desarrollo y problemas actuales*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Ferrer, A. (2008). *La economía argentina. Desde sus orígenes hasta principios del siglo XXI*. Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- Ferullo, H. D. (2000). *El malestar en las economías modernas de mercado*. Buenos Aires: Macchi.
- Flores, M. (1980). *De la sustitución de importaciones a la sustitución de exportaciones*. Nueva sociedad, N° 50, setiembre-octubre, 147-155.
- Guillén Romo, H. (2005). *Auge, declinación y renacimiento de la economía anglosajona estándar del desarrollo*. Mundo Siglo XXI, 18-28.
- Gurmendi, N. y Silveti, J. (2021). *La Terciarización forzada en las Regiones Subcapitalizadas de la Periferia. Santiago Del Estero, 1994-2007*. Actualidad Económica(103), 43-56.
- Hirschman, A. O. (2013). *El Hirschman esencial*. Princeton: Princeton University.
- INDEC. (1999). *Estadísticas básicas. Los municipios de Santiago del Estero*. CABA: INDEC.
- Jevons, W. S. (1957). *Teoría de la Economía Política*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Krugman, P. y Wells, R. (2007). *Microeconomía*. Barcelona: Reverté SA.
- Lewis, A. (1954). *Economic development with unlimited supplies of labour*. The Manchester School of Economic and

- Social Studies.
- Llach, J. J. (1987). *Reconstrucción y estancamiento*. Buenos Aires: Tesis-ADEBA.
- Maddison, A. (1952). *Productivity in an expanding economy*. Economic Journal, 584-594.
- Menger, C. (1983). *Principios de Economía Política*. Madrid: Unión Editorial e Instituto de Economía de Mercado .
- Ministerio de Economía y Finanzas. (2011). *La inversión pública 2003/2010: una herramienta para el desarrollo*. Buenos Aires.
- Paz, R. y Jara, C. (2011). *Estructura agraria en Santiago del Estero: el proceso de territorialización de las EAPs sin límites definidos y su tensión frente al avance del capitalismo agrario*. Estudios Rurales, Centro de estudios de la Argentina rural. UNQ, 4(6).
- Rossi, M. C. (11, 12 y 13 de octubre de octubre de 2017). *De los bañados a los canales de irrigación. Santiago del Estero. 1855-1875*. Encuentro de Jóvenes Investigadores XIV. Santiago del Estero, Santiago del Estero, Argentina: Actas de las Jornadas EJI XIV.
- Rostow, W. W. (1961). *Las etapas del crecimiento económico: Un manifiesto no comunista*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Sampedro, J. L. (1961). *Realidad económica y análisis estructural*. Madrid: Aguilar.
- Silveti, J. L. y Gurmendi, M. N. ( de 2018). *Neoestructuralismo: igualdad, cambio estructural y desarrollo en el capitalismo periférico*. (G. d. (GESHAL), Ed.) e-I@tina, 16(64), 18-32.
- Silveti, J. L., Gurmendi, N. y Salvatierra, R. ( de 2017). *Cambio estructural y desarrollo productivo en Santiago del Estero. Período 1994-2007*. Trabajo y sociedad (29), 377-390.
- Silveti, J. y Gurmendi, N. (2020). *La desigualdad de ingresos en regiones periféricas. Santiago del Estero. Argentina*. Cuestiones de Sociología. UNLP(21). Obtenido de <https://www.cuestionessociologia.fahce.unlp.edu.ar/article/view/CSe082>, Santiago del Estero- Argentina. Cuestiones de

sociología (n.21)

- Smith, A. (1987). *Investigación sobre la naturaleza y causas de la riqueza de las naciones*. Valissar del mar. España: Oikos Tau.
- Stiglitz, J. (2010). *Regulación y fallas*. Economía Institucional. Unión Industrial Argentina. (1944). *Memorias UIA. Memorias 1940\_1944*. CABA, Buenos Aires: Unión Industrial Argentina.
- Wainer, A. G. (julio de 2018). *Economía y política en la Argentina kirchnerista (2003-2015)*. Revista Mexicana de Sociología, 323-351.
- Walras, L. (1987). *Elementos de economía política pura (o teoría de la riqueza social)*. Madrid: Alianza.

# MERCADO DE TRABAJO, INFORMALIDAD Y DESIGUALDADES DE GÉNERO EN SANTIAGO DEL ESTERO<sup>1</sup>

LUCAS TORRES<sup>2</sup>; JORGELINA CAJAL<sup>3</sup>; YANINA SAAD GIULIANO<sup>4</sup>;  
ELIANA SAYAGO PERALTA<sup>5</sup>; FLORENCIA SUAREZ<sup>6</sup>

## Resumen

El presente trabajo se propone analizar las situaciones de informalidad y precariedad laboral en el mercado de trabajo de Santiago del Estero, a partir del abordaje de cuatro sectores de trabajadores informales.

1 Este capítulo reúne resultados parciales del Proyecto de Promoción del CICyT-UNSE titulado "Dinámicas del mercado laboral en Santiago del Estero: perspectivas y debates actuales en torno al trabajo y los trabajadores" (Cod. 23/D209).

2 Dr. en Estudios Sociales de América Latina. Becario posdoctoral CONICET. INDES (FHCSyS-UNSE/CONICET).

3 Lic. en Sociología. Becaria Doctoral CONICET. INDES (FHCSyS-UNSE/CONICET).

4 Tec. en Información Económica y Social. Tesista de la Lic. en Sociología. INDES (FHCSyS-UNSE/CONICET).

5 Lic. en Sociología. Becaria Doctoral CONICET. INDES (FHCSyS-UNSE/CONICET).

6 Máster en Derecho del Trabajo. Becaria doctoral CONICET. INDES (FHCSyS-UNSE/CONICET).

La estrategia metodológica se compone por técnicas cuantitativas y cualitativas para el análisis. En el primero de los casos, se recurre a información disponible en la base de microdatos de la Encuesta Permanente de Hogares del INDEC. En el segundo, se busca indagar en las experiencias de trabajadores y trabajadoras de distintos sectores de actividad como el servicio doméstico, cooperativas de trabajo, feriantes de la economía popular y trabajadores del sector turístico de Las Termas de Río Hondo.

La particularidad que presenta este trabajo es que reúne estudios de grupos y diferentes sectores de trabajadores y trabajadoras, en los que la informalidad y la precariedad laboral emergen como una categoría transversal que posibilita el abordaje. En ese sentido, la inserción y/o permanencia en el servicio doméstico por parte de las trabajadoras de los diferentes sectores en cuestión también se corresponde con la transversalidad que intentamos recuperar. Los resultados que se exponen buscan describir realidades semejantes en un mercado de trabajo altamente desigual entre varones y mujeres, entre trabajadores/as formales e informales y las formas en que esas desigualdades se manifiestan en nuestra provincia.

Palabras clave: mercado de trabajo; desigualdades; informalidad; Santiago del Estero

### **Abstract**

The purpose of this paper is to analyze the situations of informality and labor precariousness in the labor market of Santiago del Estero, based on the approach of four sectors of informal workers.

The methodological strategy is composed of quantitative

and qualitative techniques for the analysis. In the first case, information available in the microdata base of the INDEC's Permanent Household Survey is used. In the second, we seek to investigate the experiences of workers from different sectors of activity such as domestic service, work cooperatives, popular economy fair vendors and workers in the tourism sector in Las Termas de Río Hondo.

Therefore, the particularity of this work is that it brings together studies of groups and different sectors of workers, in which informality and labor precariousness emerge as a cross-cutting category that makes the approach possible. In this sense, the insertion and/or permanence in domestic service by women workers from the different sectors in question also corresponds to the transversality that we are trying to recover. The results presented here seek to describe similar realities in a highly unequal labor market between men and women, between formal and informal workers, and the ways in which these inequalities are manifested in our province.

Keywords: labor market; inequality; informality; Santiago del Estero

## Introducción

Asistimos a un escenario nacional e internacional cada vez más adverso para los trabajadores. La desregulación y las políticas de flexibilización han contribuido con la progresiva deslaboralización de la sociedad; las nuevas tecnologías han traído consigo la destrucción de miles de empleos. Aunque seguimos contando con instituciones centradas en torno al trabajo, hay un creciente número de personas que viven al margen de la relación salarial y que precisan más que nunca de la protección



que ofrecen los derechos sociales.

Nos encontramos, por lo tanto, con un mercado de trabajo completamente fragmentado y polarizado entre aquellos que tienen un trabajo, pues están registrados, y aquellos que no lo poseen o son informales, y se caracterizan por la precariedad, la mala remuneración y la baja calificación. Esto, inevitablemente, sitúa a quienes se encuentran en ese lugar (*outsiders*) en una posición desigual en relación a la posibilidad de disfrutar, al menos, de las garantías que, aunque de manera insuficiente, prevé el sistema jurídico laboral para tutelar el empleo de los que se encuentran dentro de ese sistema (*insiders*)<sup>7</sup> (Baylós Grau, 2009).

Este fenómeno se explicaría, en parte, porque el trabajo, históricamente, fue la principal herramienta para la inserción en la sociedad, algo así como una carta de ciudadanía con efecto aglutinador. A través del empleo se obtenía la plena pertenencia a la sociedad; el vínculo social era el vínculo laboral. "Hasta ahora, y desde hace dos siglos, el trabajo asalariado ha sido o ha intentado ser el lugar donde organizar al grupo social" (Cabello de Alba y Rodríguez Fernández, 2017, p. 17). Sin embargo, durante las primeras dos décadas del siglo XXI, el sistema productivo lanza a la informalidad, es decir, fuera de los límites del derecho laboral protectorio, a muchos de los trabajadores y trabajadoras del mundo.

De acuerdo con Bertranou y Casanova (2014), la informalidad es un fenómeno heterogéneo y multidimensional, complejo y arraigado en la sociedad. Los trabajadores y las trabaja-

7 Vale aclarar en este sentido que la expulsión del ámbito *ius-laboral* de determinados trabajadores o medidas de flexibilidad concentradas en los elementos del despido, por mucho que se presenten o aparezcan como funcionales a la política de empleo, difícilmente sean compatibles con el reconocimiento del derecho al trabajo.

doras informales, según los autores, "generalmente no cuentan con la protección necesaria frente a los diversos riesgos sociales, como pueden ser los accidentes laborales, el desempleo, la pobreza en la vejez, entre otros" (op. cit., p. 17).

Existen diferentes visiones teóricas (op. cit., pp. 22 - 26) sobre la informalidad laboral que hacen referencia, *grosso modo*, en primer lugar, a un *dualismo* en las economías en donde existe un sector moderno y un sector tradicional de baja productividad, este último compuesto por trabajadores excluidos del primero, quienes dependen del crecimiento de aquel para poder ser incluidos. Por otro lado, la visión *estructuralista* hace referencia a un sector informal que está subordinado al formal y es necesario para el crecimiento de este. La visión del *escape* nos habla de trabajadores y de empresas que eligen la informalidad a partir de un balance costo-beneficio que requiere la formalización. Finalmente, cabe mencionar la visión de los *mercados multisegmentados*, que toma aportes de las tres visiones anteriores y que contempla que dentro del sector informal se encuentran diferentes niveles de trabajadores informales.

Más allá de las distintas visiones sobre la informalidad, todas hacen referencia a trabajadores y empresas que se encuentran fuera de la legislación laboral, fiscal y de la seguridad social. En este sentido, para el caso del presente trabajo, vamos a tomar el *concepto operativo de informalidad*, como lo presentan los autores, en relación con la falta de registración a la seguridad social (op. cit., p. 32) y de beneficios laborales que pertenece a todo trabajador asalariado.

También vamos a referirnos a la precariedad laboral, entendida como un concepto más amplio que el de empleo no registrado. Este último es una de las principales manifestaciones de precariedad, entre las que podemos mencionar la temporalidad de los empleos y contratos, la forma de determinación de salarios, las condiciones laborales, la protección legal refe-

rida a despidos injustos, las prácticas laborales no aceptables, la falta de protección de la seguridad social y los bajos ingresos (Bertranou y Casanova, 2014).

## El mercado de trabajo en Santiago del Estero

Para contextualizar el tema del mercado de trabajo en Santiago del Estero, debe afirmarse que nuestra provincia no estuvo al margen de los vaivenes económicos, políticos y sociales que han afectado a toda la región. Los estudios del trabajo en Santiago del Estero (Zurita, 1999; Díaz y Zurita, 2000) han demostrado que, en la década de 1990, la provincia se caracterizó por una economía con una muy baja industrialización y con escaso peso del sector privado en actividades económicas dinámicas. Por ello, gran parte de la población económicamente activa (PEA) se concentraba en empleos en el sector público, directamente en la administración estatal, o en actividades conexas en la salud, la educación y la seguridad (Zurita, 1999). Además, persistían elevados niveles de ruralidad y una débil estructura productiva local en condiciones insuficientes de generar plazas de trabajo que puedan retener a la población en edades activas (Zurita, 1999a; Cajal, 2019), por lo que, durante gran parte del siglo XX, Santiago del Estero se caracterizó por expulsar población económicamente activa e incorporar a las dinámicas habituales del mercado de trabajo el fenómeno de la migración golondrina (Tasso, 2003; Ledesma, Paz y Tasso, 2011; Tasso y Zurita, 2013; Quaranta y Blanco, 2012; Torres, 2018).

En la primera década del siglo XXI, se acentuó una tendencia legada por la década de los '90. Según Silveti, Gurmendi y Salvatierra (2017):

El mercado de trabajo, con problemas seculares de absorción de empleo productivo, terminó generando el crecimiento despro-

porcionado del sector servicios. La tercerización no fue fruto de la modernización productiva, sino una válvula de descompresión del exceso de mano de obra. (p.388)

Según estos autores, otra de las actividades que más creció en este periodo es la de la construcción, incluso en comparación con la media nacional, debido a la gran inversión en obra pública por parte del gobierno provincial desde el año 2005.

Asimismo, podemos advertir la presencia de mujeres engrosando las filas de actividades no calificadas, informales y precarias que, además, tienen que conciliar el trabajo remunerado con el trabajo doméstico no remunerado. Los estudios sobre las desigualdades presentes en la estructura laboral santiagueña (Silveti, Gurmendi y Salvatierra, 2017; Torres y Sayago, 2020) toman como dimensiones el acceso y la calidad de los empleos (Torres, 2018; Giménez, 2019; Salto, 2019; Suárez 2019a), la segregación por género (Torres, 2019a, Sayago Peralta, 2019a), las trayectorias laborales de las y los trabajadores (Torres, 2019a; Cajal, 2019; Saad Giuliano, 2019) y la organización colectiva de trabajadoras (Torres, 2019c; Suárez, 2019b; Sayago Peralta, 2019b).

Los principales resultados de tales indagaciones han mostrado, además, una fuerte presencia de informalidad y precariedad laboral en términos de falta de registración o registración defectuosa, e inestables condiciones de trabajo (Bertranou y Casanova, 2013); también se presentan trayectorias laborales intermitentes, sobre todo en empleos no registrados y en actividades altamente feminizadas, como el servicio doméstico, y la dificultosa organización colectiva, sobre todo para las trabajadoras.

Según datos de la EPH-INDEC (Encuesta Permanente de Hogares, programa que lleva a cabo permanentemente el Instituto Nacional de Estadística y Censos) para el último trimestre de 2019, son cuatro las actividades que concentran más

de la mitad del empleo urbano: el comercio con un 15,75%, la construcción y la administración pública con 14,19% respectivamente y el servicio doméstico con 10,67%. Asimismo, la tasa de empleo se ha mantenido entre 2014 y 2019 alrededor del 50% y la de informalidad (asalariados o por cuenta propia que no están registrados a la seguridad social) entre el 50% en 2015 y el 38% del total de personas ocupadas en 2019. Por su parte, la construcción con el 56% y el servicio doméstico con 94% son las actividades que evidencian mayor tasa de trabajo no registrado. Del total de trabajadores no registrados, el 29% son trabajadoras del servicio doméstico y el 4,27% realiza changas (trabajos transitorios, por tarea, etc.). El porcentaje de informalidad entre las mujeres ocupadas es de 35%, y el 65% de ellas se desempeñan como trabajadoras del servicio doméstico.

Si consideramos que las mujeres no solo acceden a empleos más precarios en el mercado de trabajo, sino que también reciben menor salario (perciben en promedio 24% menos que los hombres) y que realizan tareas de cuidado y de garantía de las economías domésticas, se observa, por lo tanto, que deben aumentar su participación en forma de doble o triple jornada en el mercado de trabajo (D'Alessandro, 2016).

Además, cerca del 90% del total de trabajadoras y trabajadores no registrados perciben un ingreso inferior al salario mínimo, vital y móvil de \$16.8758. Con respecto a las principales actividades a las que tienen acceso las mujeres, el servicio doméstico encabeza la lista con un valor cercano al 26% (superando la media nacional de 17% del total de ocupadas), luego aparecen la enseñanza y el comercio con un 15,43% cada una, le sigue la administración pública con un 14,51% y la salud con

el 9,25%; estas cinco actividades son las que reúnen el 80% del empleo femenino urbano.

## Definiendo los casos

### *El trabajo en casas particulares*

Históricamente, el mundo del trabajo (productivo) ha sido asignado a los varones en la división sexual del trabajo, mientras que el mundo doméstico (reproductivo) lo fue para las mujeres (Barrancos, 2000; Eguía *et al.*, 2007; Torns, 2008; Carrario y Freire, 2010; Arango Gaviria, 2002; Cutuli y Pérez, 2011; Goren, 2017; Faur y Tizziani, 2017; Micha y Pereyra, 2019). Es en la década de 1980 que se produce la ruptura epistemológica del concepto de trabajo en las ciencias sociales (Torns, 2008), a partir del cual se potenció la construcción del trabajo de la mujer como nuevo objeto de estudio, el cual contaba con una extensa e invisibilizada trayectoria.

Según la Organización Internacional del Trabajo (OIT, 2010), el servicio doméstico "hunde sus raíces en la historia mundial de la esclavitud, el colonialismo y otras formas de servidumbre" (pág.1). Numerosos estudios muestran que las filas de este sector se nutren de mujeres de sectores populares urbanos o rurales, con niveles educativos bajos y que, en cierta medida, funcionan como el sostén de sus familias (Zurita, 1983; Chávez Carapia, 2005; Cutuli y Pérez, 2011; Gorbán, 2014; Tizziani y Poblete, 2013). Además, la informalidad y la precariedad laboral (Lavín, 2006; Bertranou y Casanova, 2013) se presentan como rasgos comunes de este tipo de empleos.

De acuerdo con la OIT (2011), la situación de desigualdad que soporta el personal doméstico se debe a ciertas características de la actividad, como su invisibilización dentro del mercado laboral. Esta es una actividad que se realiza de ma-

nera aislada, sin colegas, a puertas cerradas, al interior de una casa particular.

En 2013, luego de varios años de debates y discusiones en torno a los preproyectos de ley (Pereyra y Poblete, 2015; Cutuli, 2018), se sanciona la Ley 26.844, denominada *Régimen Especial de Contrato de Trabajo para el Personal de Casas Particulares*, que deroga el Decreto Ley 326/56 designado como *Estatuto del Servicio Doméstico*. El nuevo régimen tiene por objeto saldar una de las mayores deudas legislativas y sociales para un amplio colectivo de trabajadoras y trabajadores de nuestro país. El artículo 2 define al trabajo en el servicio doméstico como:

[...] toda prestación de servicios o ejecución de tareas de limpieza, de mantenimiento u otras actividades típicas del hogar. Se entenderá como tales también a la asistencia personal y acompañamiento prestados a los miembros de la familia o a quienes convivan en el mismo domicilio con el empleador, así como el cuidado no terapéutico de personas enfermas o con discapacidad.

Es por ello que nos preguntamos, desde el punto de vista de las experiencias, de qué formas atraviesan estas condiciones las trabajadoras y los trabajadores que forman parte de sectores de actividad con altos índices de informalidad y precariedad laboral.

### *El caso de las trabajadoras de la economía popular*

Desde las últimas décadas del siglo XX, se observa la presencia de mujeres que se insertan en el mercado de trabajo engrosando las filas de actividades no calificadas, informales y precarias (Cutuli, 2016; Muñiz Terra, 2012). Más allá de que la formación

y la oferta de mano de obra femenina crecieron exponencialmente en las últimas décadas, aún podemos observar grandes inequidades entre varones y mujeres (Goren y Díaz, 2013); es decir, el importante crecimiento de la oferta laboral femenina no se ha traducido en una mejora equivalente del lugar que ocupan dentro del mercado laboral.

La Encuesta Sobre Trabajo No Remunerado y Uso del Tiempo realizada por el INDEC en 2013, reveló que, en Argentina, el 76,4% del tiempo total dedicado al trabajo doméstico no remunerado lo realizan las mujeres. En el caso de la provincia de Santiago del Estero, las horas promedio dedicadas a actividades que componen el trabajo doméstico no remunerado según sexo manifiestan desigualdades expresadas en los siguientes puntos: mientras que los varones dedican, en promedio, 2,5 horas al trabajo no remunerado, las mujeres lo hacen en un 5,4 (esto es, sin discriminar las tasas de participación, grupos de edad, situación conyugal, presencia de menores en el hogar, relación de parentesco con la jefatura del hogar, etc.) (Torres y Sayago, 2020).

Así, un creciente número de mujeres se enfrenta al dilema de trabajar, cuidar, ingeniarse y subsistir, cuando el modelo de mujer ama de casa y varón proveedor ya no es factible ni, para muchas de estas mujeres, deseable, si se consideran, sobre todo, las experiencias de las mujeres de los sectores populares que integran la economía popular. Cuando hablamos de "mujeres de sectores populares", lo hacemos en el mismo sentido que Micha y Pereyra (2019) para "referirse a mujeres vulnerables o mujeres en situación de pobreza. Se utiliza como término polisémico, con el fin de abarcar las distintas formas en que la literatura se ha aproximado a la definición de las mujeres de nivel socioeconómico bajo" (p. 2).

Las experiencias de las mujeres de la Economía Popular frente a las situaciones de exclusión del mercado laboral, profundizadas por el trabajo doméstico y no remunerado -en es-



pecial de las que tienen cargas de cuidado-, representan un dilema cotidiano que desemboca en la construcción de repertorios de acción colectivos, para insertarse en el circuito económico del *mundo popular* (Wilkis, 2015). Por lo tanto, las trabajadoras de este sector, quienes además han trabajado o trabajan como empleadas domésticas (Torres y Sayago, 2020), son quienes de manera independiente (de forma individual o colectiva) realizan una actividad por cuenta propia para generar ingresos económicos y conciliar/articular las cargas de cuidado y de trabajo no remunerado.

Es por ello que, a partir de sus testimonios, describiremos brevemente algunas características sociodemográficas, las trayectorias laborales y el repertorio de acción que se desprende de las estrategias utilizadas en el trabajo remunerado que realizan como feriantes de la economía popular, y también en el trabajo no remunerado que realizan en sus hogares, teniendo en cuenta el uso del tiempo destinado al mismo. Es necesario, entonces, considerar las interrelaciones entre estos tipos de trabajos, en un contexto cultural en el que perdura la marginación de las mujeres en el mundo del trabajo, la valoración inferior de los mismos, la plena responsabilidad del trabajo doméstico no remunerado y todo tipo de factores sociales y atributos femeninos que condicionan la vida de las mujeres.

### *El Caso de las mujeres que integran una cooperativa dentro del Programa de Transferencia Condicionada Ellas Hacen*

La inserción de las mujeres en el mundo del trabajo en Argentina se ha desarrollado en un contexto de *revolución estancada*. Si bien su participación en el mercado laboral ha sido creciente en las últimas décadas, esta fue acompañada por el deterioro continuo del mercado de trabajo, caracterizado por la reducción de las remuneraciones, la informalidad, la flexibilización

extrema, la precariedad y la exclusión masiva que los planes sociales intentan paliar (Wainerman, 2005).

En el marco de las iniciativas orientadas a hacer frente a estas situaciones desventajosas, surgen los Programas de Transferencias Condicionadas, tales como *Argentina Trabaja* y la línea *Ellas Hacen*.

La línea de trabajo denominada *Ellas Hacen* se inició en Santiago del Estero en el año 2013, y su propósito era promover la inclusión social y el desarrollo económico de las mujeres santiagueñas en situación de vulnerabilidad socioeconómica a través de su organización en noventa y nueve cooperativas de trabajo. Los cinco componentes que formaron el plan de actividades sobre el que se trabajó con el programa *Ellas Hacen* fueron: educación, salud, mejoras en el hogar, empleabilidad y fortalecimiento comunitario.

Si bien la terminalidad educativa era un fin perseguido por ambos programas, en el caso de *Ellas Hacen* fue prioritario y condicionante de la continuidad de las mujeres como titulares del mismo, las que debían terminar sus estudios primarios y secundarios.

El lanzamiento de una línea destinada exclusivamente a mujeres es una iniciativa que busca disminuir el perjuicio causado por la segregación en el ámbito laboral evidenciada a lo largo de la historia, caracterizada por una gran brecha entre varones y mujeres, ya que estas no participan del mismo modo que los primeros. La Encuesta Permanente de Hogares (2013) reveló que, si bien las mujeres representan la mitad de la población, su tasa de empleo es más baja que la de los varones, la que en Argentina tiene un índice de 43,1% para ellas y 67,8% para ellos.

En este sentido, las responsabilidades familiares y las actividades domésticas propias del trabajo reproductivo determinan y condicionan la inserción laboral de las mujeres. Las ocupaciones en las que mayoritariamente se desempeñan se asocian

al rol tradicional de ama de casa.

A pesar de las transformaciones del modelo familiar tradicional, sigue vigente una división sexual del trabajo en la que las mujeres son las responsables principales de la organización y el cuidado de los hogares. Por ello, aquellas con compromisos familiares tienden a trabajar a tiempo parcial.

Todo lo mencionado condiciona a que, tradicionalmente, se observe una concentración de las mujeres en un conjunto reducido de ocupaciones que se definen como típicamente femeninas, tales como trabajadoras del servicio doméstico, empleadas de oficina, vendedoras de comercio, maestras, peluqueras y afines. Es decir, las mujeres se encuentran sobrerrepresentadas en estas actividades.

Además, la dificultad de muchas mujeres para trabajar más horas continúa siendo un factor crítico en la persistencia de las brechas de ingreso. Esto inhibe un acceso más pleno al mercado laboral, especialmente entre los sectores más vulnerables, y limita las formas de inserción. En promedio, las mujeres trabajan menos horas, en situaciones de mayor precariedad y con trayectorias más inestables.

En general, en los sectores más vulnerables desde el aspecto socioeconómico en la Argentina, y en particular en el caso de las mujeres, las estadísticas muestran que se observa que, a lo largo de sus vidas, las mismas realizan trabajos de baja calificación, en particular tareas domésticas, tanto en su hogar como bajo la dependencia de un empleador, o actividades comerciales como vendedoras informales, con grandes variaciones en cuanto a la continuidad y discontinuidad de las mujeres en cada labor.

Lo descrito muestra un alto grado de desigualdad entre varones y mujeres en cuanto a la división sexual del trabajo y a la participación en el mercado laboral.

*El caso de los trabajadores y trabajadoras turísticas*

El turismo es un factor importante en el crecimiento económico no solo a nivel local, sino que también es apreciado como una de las actividades productivas y económicas más significativas del mundo; su estímulo, incluso en Argentina, está vinculado principalmente con un enfoque *productivo, estratégico y socioeconómico*, que aporta una estimación del 8% del PBI y genera cerca de 1.5 millones de puestos de trabajo (CEPAL, 2010). Como resultado de ello, la creación de puestos de trabajo es frecuentemente la variable más considerada a la hora de evaluar el desarrollo turístico, pero desde esta perspectiva no se fundamenta que muchos de los empleos creados en diferentes regiones donde se practica la actividad turística son de baja calidad -mal remunerados, inestables y poco cualificados- y los pocos empleos de calidad que se generan son ocupados, en gran mayoría, por población ajena a las localidades donde la actividad turística se desarrolla (Santana Turégano, 2005; Dachary y Burne, 2006).

Por esta razón, es importante que el análisis del turismo incorpore las necesidades de los trabajadores y las trabajadoras del sector, y que se tenga en cuenta la inestabilidad y/o estacionalidad del empleo. Si bien la determinación de los límites y los contenidos del empleo turístico no es una tarea sencilla, se han generado arduos debates en las ciencias sociales en los últimos años sobre cómo funciona y qué se entiende al hablar de trabajo turístico (Tottino, 2014; Da Cruz, 2015). La mayor parte de esta discusión ha sido impulsada por la dificultad de poder delimitar qué puede ser incluido dentro de esta categoría, debido a la gran cantidad de actividades<sup>9</sup> que tienen relación con

9 Actividades cuya principal producción es un "producto característico del turismo", es decir, aquellos productos relacionados con servicio de alojamiento, servicio de provisión de alimentación y bebidas, servicios de transporte de pasajeros y servicios de agencias de viaje, operadores y guías de turismo.

el turismo y, sobre todo, porque desde este tipo de actividades no solo se interactúa con turistas, sino también con la población local (Tottino, 2014; Da Cruz, 2015). De esta manera, una misma actividad puede que tenga relación o no con el turismo dependiendo de cuál sea su demanda en particular y el período de duración de la temporada turística (si es que el destino está marcado por la estacionalidad).

Referirse al turismo en sus diferentes niveles -nacional e internacional- implica enmarcar un proceso de modernización y profesionalización del sector (Tottino, 2014; Da Cruz, 2015), que es lo que se ha pretendido implementar en la ciudad de Las Termas de Río Hondo en los últimos diez años, lo que están contemplados como el auge del turismo termal y deportivo. Esta ciudad cuenta con una población estable de 45.000 personas, es reconocida por su clima y por el beneficio de sus aguas termales que le permite posicionarse como centro turístico invernal, con temporadas altas de abril a octubre y turismo de fin de semana durante todo el año. De este modo, el turismo se convierte en su principal actividad económica, en la cual se han promovido grandes inversiones destinadas a dotar de servicios y de confort para alcanzar los estándares que requiere un turismo de relevancia mundial (Romano, 2012).

Pese que el turismo es su principal actividad económica, su mercado de trabajo se caracteriza por la estacionalidad, y esto se puede ver reflejado en sus muy altos, e históricos, niveles migratorios, ya que la débil -o casi nula- estructura productiva de la ciudad de Las Termas de Río Hondo no puede retener a la población en edades activas, que migran en búsqueda de empleos estacionales y/o permanentes. La centralidad del empleo turístico estacional, cuya diversificación económica constituye un móvil para el desplazamiento migratorio de la población hacia otros puntos turísticos del país -como la Costa Atlántica-, provoca que, una vez finalizada la temporada turística local, las condiciones estructurales del mercado de trabajo instalen

la necesidad de migrar para muchos trabajadores y trabajadoras que erigen la estacionalidad como práctica intrínseca a sus trayectorias de vida y de trabajo. Este movimiento migratorio les permite acceder a oportunidades laborales asignadas para suministrar los medios de subsistencia como estrategias familiares de vida y de reproducción para lograr mantener y/o mejorar sus condiciones de vida o estatus social a lo largo del tiempo (Bendini, Steimbregger y Radonich, 2009; Tasso y Zurita, 2013).

## Metodología

La estrategia metodológica seleccionada para llevar adelante el proyecto de investigación estuvo compuesta por una combinación de lógicas cuantitativas y cualitativas.

En el caso del análisis estadístico de actividades económicas se recurrió a la base de microdatos de la Encuesta Permanente de Hogares del INDEC, en sus series de 2014-2019<sup>10</sup>, los cuales fueron procesados mediante REDATAM (REcuperación de DATos para Áreas pequeñas por Microcomputador, desarrollado por CELADE - División de Población de la CEPAL) y SPSS (Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales). La encuesta se realiza trimestralmente en treinta y un conglomerados urbanos del país. Para el caso del conglomerado Santiago del Estero - La Banda<sup>[1]</sup>, se trabajó con una muestra de 1873 casos individuales, en un total de 1974 hogares.

Este instrumento, que según Bertranou y Casanova (2014) es la principal fuente de datos para el monitoreo de la situación ocupacional, se implementa en grandes aglomerados urbanos

10 Debido a la extensión de esta publicación, se presentan los resultados del IV trimestre de 2019.

y cuenta con una cobertura aproximada del 70% de la población urbana y del 62% de la población total. Para el análisis del mercado de trabajo santiaguense y de sus desigualdades, se tendrán en cuenta principalmente la participación laboral de varones y mujeres, las tasas de actividad, de empleo y de desocupación, la calificación de la ocupación, la tasa de informalidad y el nivel de salarios.

En cuanto a la estrategia cualitativa, se tomaron en cuenta diferentes sectores de actividad para llevar adelante el trabajo de campo. Estas actividades fueron seleccionadas ya sea por las altas tasas de informalidad y la precariedad laboral (servicio doméstico o feriantes de la economía popular), por ser característicos de una región (sector turístico de Las Termas de Río Hondo) o bien porque es resultado de una política pública (cooperativa de trabajadoras).

Para el caso de las trabajadoras de casas particulares, se realizaron trece entrevistas en profundidad, del tipo historia de vida, a ocho empleadas y cinco empleadoras. El criterio para la selección de casos fue que, al momento de la entrevista, las mujeres estuvieran desempeñándose en alguna de las tareas propias del servicio doméstico (limpieza, cuidado, atención o mantenimiento) en el área geográfica del conglomerado Santiago del Estero - La Banda. Además, se consideró relevante que representaran los distintos modos de inserción (cama adentro -sin retiro-, cama afuera -con retiro- o por horas). También se tuvo en cuenta el lugar de nacimiento (si eran oriundas del conglomerado, del interior de la provincia o de otra provincia). Las entrevistas se organizaron alrededor de tres ejes: experiencias en el servicio doméstico, informalidad y precariedad laboral y trayectorias laborales. Estos se analizan de acuerdo con diferentes dimensiones relativas a las relaciones laborales, considerando las formas en que se instituye la autoridad en el hogar y la distribución de las tareas, el trato entre las partes y las relaciones inter e intragénero. Se tuvieron en cuenta las

posibilidades de movilidad social y laboral de las mujeres que trabajan en el servicio doméstico y su crecimiento personal y profesional; para esto, se hizo foco en los procesos de jerarquización y categorización instituidos alrededor del trabajo en cuestión.

Para el caso de las trabajadoras del programa *Ellas hacen*, se escogió una cooperativa que está formada por diez mujeres. Fue importante, como criterio para la elección de la misma, la continuidad como ente conformado (aun cuando la permanencia en forma de organización ya no resultaba obligatoria como requisito de este programa). Para abordar este análisis, se realizaron entrevistas en profundidad debido a su capacidad y flexibilidad de percibir las construcciones subjetivas de las entrevistadas (Torres, 2018), las cuales poseen particularidades que crean un tipo de información que refleja las formas de sentir y pensar la realidad social. Se busca conocer las trayectorias laborales haciendo hincapié en la descripción de las expectativas que las mujeres titulares de derechos tienen sobre el trabajo. Asimismo, el período de análisis comprende los años de inicio del programa en la provincia de Santiago del Estero (2013) y el de cese del mismo como tal (2018), para transformarse en *Hacemos Futuro* y, actualmente, *Potenciar Trabajo*. Todas las mujeres entrevistadas residen en Santiago del Estero y sus edades oscilan entre los treinta y los cincuenta años; ellas integran esta cooperativa que forma parte de *Ellas Hacen* desde el año 2013.

Para el análisis del sector turístico, los testimonios planteados son productos de entrevistas biográficas realizadas a dieciséis trabajadoras y trabajadores del sector turístico de la ciudad de Las Termas de Río Hondo -cuyos puestos de trabajos están ligados a la rama de los productos característicos de la actividad turística como la hotelería y gastronomía-. Fueron elegidos a partir de un muestreo intencional, configurados de acuerdo con estas variables: nivel educativo, categorías o modalidades



de inserción, tipos de empleo y lugares de origen. Las edades de estos trabajadores y trabajadoras rondan entre los veintiún y los cincuenta y ocho años de edad, y se desempeñan en actividades como mozo/a, camarera, mucama, recepcionista, cocinero/a, ayudante de cocina, etc. Este abordaje permitió el estudio de sus necesidades como trabajadores del sector, teniendo en cuenta dimensiones de análisis tales como el salario, el tipo de relación laboral, la antigüedad, la estacionalidad, las expectativas y la valoración de la actividad.

El sector de trabajadoras de la economía popular fue abordado desde la *mirada de las mujeres*, es decir, optamos por un estudio cualitativo para abordar la realidad desde un proceso dialéctico (Rojas Soriano, 2012) que nos permita “dialectizar permanentemente los referentes conceptuales con la información empírica” (Achilli, 2005, p. 40). Por ello, entrevistamos a cinco trabajadoras, con edades comprendidas entre los cuarenta y cuatro y los sesenta años de la feria popular “La Saladita” del barrio Reconquista de la ciudad capital de Santiago del Estero, entre finales de 2016 y principios de 2019. La selección de informantes claves responde a los siguientes criterios: su antigüedad como trabajadoras feriantes (mayor a 10 años), referencias construidas en los espacios de coordinación y decisión al interior de la feria, responsabilidades asumidas que garantizan el funcionamiento de su espacio de trabajo, conciliación del trabajo remunerado como feriantes con la cantidad de horas dedicadas al trabajo no remunerado en tareas destinadas a garantizar el bienestar físico y psíquico de los miembros del grupo familiar, y a las tareas de cuidado del entorno y de las personas (incluidas las personas dependientes, niños/as y ancianos/as).

## Resultados

### *El sector de trabajadoras de casas particulares*

Este tipo de trabajo, en nuestra provincia, tiene como característica principal el de ser llevada a cabo por mujeres de sectores populares (Olmos Castro, 1943; Zurita, 1983; Torres, 2019, Torres y Sayago Peralta, 2020). En efecto, en el mercado de trabajo local resulta la actividad más feminizada, con un 97% de trabajadoras. Se caracterizan (Torres, 2018) por ser mujeres de entre treinta y cincuenta años (cerca del 60%), con nivel educativo de secundario completo (38,2%), de origen local (83,77%), es decir, oriundas del conglomerado Santiago del Estero - La Banda, estado civil solteras (42,21%), y jefas de hogar (40,39%). Asimismo, esta es una de las actividades con altos niveles de falta de registración, que ronda el 94% del total de trabajadoras domésticas (superando la media nacional que es de 77%, aproximadamente), y con los salarios más bajos (el sueldo promedio de una trabajadora de casas particulares alcanza el 35% del sueldo promedio del total de trabajadores del conglomerado).

Estos datos evidencian brechas interseccionales, es decir, aquellas que profundizan las desigualdades de género en interacción con las de clase y racialización. En este sentido, Gorbán y Tizziani (2018) afirman que las trabajadoras domésticas continúan siendo reclutadas entre las mujeres menos privilegiadas, lo que reafirma una relación jerarquizada entre mujeres pobres y mujeres acomodadas<sup>11</sup> y, según los contextos locales, entre poblaciones blancas y poblaciones indígenas o negras.

11 De acuerdo a estudios recientes (ver Torres, 2018), la búsqueda, selección y contratación del personal doméstico lo realizan, por lo general, mujeres de clase media y alta.

Con relación a las experiencias de las trabajadoras dentro de la actividad, y de acuerdo con los testimonios que se pudieron recoger, podemos decir que las relaciones desiguales al interior de las casas particulares donde son empleadas estas mujeres se expresan de diferentes formas. La más visible es la informalidad, ya que la mayoría de las entrevistadas no está *blanqueada*, es decir, no está registrada como trabajadora asalariada, y las que sí están registradas al momento de las entrevistas han declarado haber trabajado informalmente en algún momento de sus vidas. Esto hace que sus trayectorias sean, muchas veces, intermitentes e inestables. En todos los casos, los ingresos a la actividad se dieron por una necesidad económica extrema, pobreza y abandono escolar.

El hecho de que el trabajo esté compuesto por tareas que consideran inherentes al género femenino quita importancia y seriedad a la relación laboral, por el solo hecho de ser consideradas como tareas que realiza una mujer. Cabe destacar que ninguna de las mujeres entrevistadas había tenido experiencia laboral previa. Esto pone en evidencia que lo que caracteriza al servicio doméstico es la percepción de estar extendiendo las tareas asignadas socialmente a las mujeres en sus hogares de origen (reproductivo, privado) al mercado laboral (productivo, público).

Una vez tomada la decisión de ingresar al mundo laboral por medio del empleo doméstico, estas mujeres entran en un campo en donde todas las decisiones las toman sus empleadores, quienes establecen sus criterios de selección, el salario a pagar y las condiciones en que realizarán el trabajo.

En la mayoría de los casos analizados, las mujeres trabajan en casas de familias de clase media, con doble jefatura, y el salario de las empleadas domésticas está a merced del ingreso total de la familia. El monto a pagar lo estipulan unilateralmente las familias empleadoras dependiendo de la disponibilidad de dinero al momento de la contratación, a la consulta entre

personas de su círculo íntimo (familiares y amistades) y al tipo de tarea que debe realizar la persona.

Otro mecanismo de desigualdad es la selección, que varía de acuerdo a la necesidad. En el caso de las empleadas para el cuidado de niños (tarea más valorada –aunque no necesariamente mejor pagada- que las de limpieza), uno de los principales criterios es la disponibilidad horaria.

Se considera fundamental que la persona disponga de mucho tiempo ocioso que pueda ser comprado por las familias empleadoras, ya que por lo general tienen trabajos de doble turno, o el turno de trabajo es móvil. Se considera imprescindible que estén disponibles en el horario en que la madre deba salir a trabajar. También se contempla su edad y su experiencia. Las madres se sienten más a gusto y seguras si las personas que se encargarán del cuidado de sus hijos/as son mayores de 25 años y si tuvieron alguna experiencia en el cuidado de menores.

Los atributos que poseen estas mujeres las convierten en destinatarias de las desigualdades que se forjan al interior de la relación, pero deben existir ciertos factores que colaboren para que la misma se sostenga en el tiempo. Al respecto, el vínculo –si se quiere, emocional- que se forja entre empleadoras y empleadas es fundamental para que la relación de desigualdad se naturalice y perdure. Por un lado, las empleadas entrevistadas expresan la necesidad de un buen trato en el lugar de trabajo, al que prefieren antes que a cualquier reivindicación salarial o laboral.

Como contraparte, las empleadoras exigen de la empleada lealtad y honestidad en el cumplimiento de sus tareas. Si bien las empleadas no reciben, en su mayoría, los beneficios laborales de cualquier trabajador/a asalariado/a, obtienen favores de sus empleadoras, por ejemplo: el acceso a créditos, la cobertura de ciertas necesidades en materia de salud, el pago de dinero extra que no es descontado del sueldo, etc.

Este intercambio de favores está en consonancia con ciertas “estructuras de patronazgo o sistema patronal basadas en un contrato de reciprocidad en donde un patrón ofrece protección y trabajo a cambio de mano de obra, lealtad y fidelidad” (Canevari e Isac, 2016, p. 275). Con el paso del tiempo “se mantiene el lugar del «señor» y la subordinación a su autoridad que contiene un estilo paternalista” (op.cit.) de carácter patriarcal.

### *Trabajadoras de una Cooperativa del Programa “Ellas Hacen”*

De acuerdo con los testimonios relevados a las mujeres entrevistadas, podemos destacar que todas las mujeres consultadas residen en Santiago del Estero capital y que sus edades están comprendidas entre los treinta y los cincuenta años. Ellas están nucleadas en la cooperativa seleccionada y forman parte de este programa desde el año 2013, año elegido para esta investigación por ser el año de inicio e implementación del programa en nuestra provincia.

En cuanto al nivel educativo que las titulares tenían al momento de las entrevistas, podemos mencionar que la mayoría no había podido concluir el nivel secundario, y las que sí lo habían hecho habían estudiado un oficio. Se destaca que una de las entrevistadas, gracias a ese título, ejerce la docencia en un instituto.

En su momento, la mayoría de las entrevistadas nos contó que no pudieron terminar la secundaria porque no contaban con recursos económicos. Otras quedaron embarazadas o tuvieron un hecho traumático, como le sucedió a una de las mujeres que vivía con su abuela y que al fallecer esta debió abandonar sus estudios. Por otra parte, otra de las titulares dejó los estudios porque tuvo que viajar a Buenos Aires para conseguir trabajo, aunque tiempo después volvió a Santiago del Estero,

circunstancia en la que tampoco logró terminar sus estudios por motivos laborales..

Una de las entrevistadas nos contó que dejó los estudios por decisión propia, porque en esa época no quería continuar.

Por otro lado, en cuanto cuáles fueron las actividades laborales que desarrollaron las entrevistadas, en algún momento de sus vidas trabajaron en el servicio doméstico. En general, los trabajos más recurrentes de este grupo de mujeres son los relacionados con la limpieza en casas de familia, de establecimientos educativos u hoteles. Además, también se dedicaron al cuidado de niños y de ancianos, fueron secretarias o atendieron comercios como kioscos, bares, despensas y locales de venta de ropa.

En los casos de las mujeres que están casadas o en pareja, son sus esposos o concubinos los que también aportan y ayudan a sostener económicamente el hogar, realizando trabajos como changas en albañilería o electricidad. En general, no tienen un empleo formal ni gozan de ningún derecho laboral. Solo uno de ellos trabaja como ordenanza en un colegio y está registrado.

La mayoría de estas mujeres nunca accedió a un trabajo formal en el cual se le reconozcan sus derechos laborales. Una de ellas afirmó que su empleadora "una vez le dijo que la registraría", ya que hacía muchos años trabajaba en esa casa como empleada doméstica. Otra de las mujeres ingresó al sistema formal como capacitadora en un instituto. Este caso es particularmente relevante, ya que ella logra una inserción laboral, no por ser parte de una cooperativa de trabajo, sino por estudiar y capacitarse, algo que inició para dar cumplimiento a un requisito del programa *Ellas Hacen* y que le permitió obtener un empleo.

Esta investigación nos permite, mínimamente por el caso seleccionado acercarnos a la realidad de un grupo de mujeres que tienen muchas cosas en común y que, al estar atravesadas

por diferentes contingencias, construyen sus trayectorias de vida y de ejercicio laboral de diferentes maneras dentro de sus posibilidades y dentro de cada contexto.

### *El sector de trabajadoras de la economía popular*

En relación con las *características sociodemográficas*, podemos decir que se trata de mujeres de entre cuarenta y cuatro y sesenta años de edad y que proceden, en su mayoría, del interior de la provincia de Santiago del Estero y de Bs As. Cuentan con estudios primarios completos, secundarios completos e incompletos, y solo una de ellas se encuentra cursando una carrera universitaria. En cuanto a la situación conyugal de las feriantes, en su mayoría son casadas y solo una es viuda. Por último, tienen entre dos y ocho hijos que residen actualmente en los siguientes barrios: La Católica, 8 de abril, Autonomía, Independencia y Siglo XX.

Con respecto a las trayectorias laborales de las mujeres feriantes, en términos de Torres (2018), se incluyen dimensiones tales como los tipos de tareas que realizan, los tipos de relación laboral y la antigüedad. Se trata de trabajadoras en cuyas condiciones laborales se resalta la ausencia de una contraprestación por parte de un empleador. Es decir, a la remuneración la conforman ellas de acuerdo con la venta en la feria, a los precios que establecen por su trabajo, y lo hacen de manera independiente, dado que la ausencia de patrón/empresario es otra de las características centrales de este tipo de economía autogestiva.

El servicio doméstico fuera del hogar aparece entonces como una especie de denominador común en las experiencias laborales de las cinco entrevistadas. Ante sus testimonios, nos parece relevante destacar que, si bien el servicio doméstico se constituye como el denominador común en la vida laboral de

las mujeres porque “va desde la limpieza de una habitación, un salón, el baño, cocinar, lavar, planchar, cuidar a algún miembro dependiente de la familia, es decir, engloba muchas actividades particulares o generales que se realizan dentro del hogar” (Torres, 2018, p.6), se realiza en condiciones precarias en todos los casos.

Sostenemos la idea de que el nivel educativo no es el único factor que condiciona el acceso a determinados tipos de trabajo por los que se recibe una remuneración diferencial; también entran en juego, en términos de D’Alessandro (2016), variables que no se pueden aislar y observar tan fácilmente y se constituyen en algo así como el lado oscuro de la brecha salarial-la brecha no explicable- en la que caen el machismo, los prejuicios, las preferencias de los trabajadores, dinámicas laborales que excluyen a las mujeres, derechos inequitativos (p.28).

### **Acerca de las estrategias**

El factor remuneración es clave para comprender los procesos de reproducción social, porque, si bien su obtención asegura las condiciones materiales de existencia, obliga a las mujeres a conseguir trabajos no solo de peor calidad, sino también a perpetuar la continuidad de tareas realizadas en el hogar, pero en forma remunerada; es tal como si existieran cualidades naturalmente femeninas que las pusieran en disposición a realizar dichas tareas.

Ante este panorama, nos resulta imprescindible problematizar, específicamente, la situación de vulnerabilidad atravesada por las mujeres, a partir de las tareas remuneradas que realizan como feriantes de la economía popular. En ese sentido, identificamos un conjunto de prácticas en las que emplean (y aspiran obtener), consciente e inconscientemente, un tipo y volumen de capital económico y social que les permite, entre



otras cosas, satisfacer sus necesidades materiales e inmateriales de vida y asegurar su reproducción.

El conjunto total de prácticas va configurando un *repertorio de acción caracterizado* por los siguientes aspectos: la venta de ropa usada, la existencia de clientes fijos, la compra de ropa para la reventa y autoabastecimiento, el pago al fiado, la inversión de tiempo y esfuerzo, los cálculos y expectativas de ganancia, la búsqueda de medios de transporte alternativos y de recursos humanos, entre otras estrategias que aseguren su trabajo como feriantes. Estas acciones solo son posibles gracias a la complementariedad en el uso de capital económico y social, y su implementación y el beneficio obtenido mediante ellas depende además de las condiciones objetivas existentes, de la relación con *un otro/a* construido/a sobre la base del capital social.

Las estrategias implementadas por estas mujeres se caracterizan precisamente por producir, acumular, reconstruir, mantener e invertir capital social en sus relaciones. Estas características se transforman en atributos de sus prácticas, están producidas ante una necesidad, en forma consciente, que se acumula en el tiempo, y permiten mantener relaciones a largo plazo que aportan al crecimiento y consolidación de los volúmenes y trayectorias del capital. En ese sentido, afirmamos que las estrategias de inversión social implementadas por las mujeres de la feria son resultado de una construcción que requiere de intercambios materiales e inmateriales, entre los que se destacan los medios y recursos disponibles provenientes de su trabajo y los intercambios simbólicos que posibilitan una red de relaciones duraderas. Para las mujeres feriantes, tejer redes y vínculos les permite no solo solucionar problemas y necesidades inmediatas, sino también aportar a su mantenimiento en el tiempo. Por esto, podemos afirmar que no existen estrategias puramente económicas y puramente sociales. Se invierten y fusionan tipos de capitales constantemente, que no se

reducen solo al plano de lo económico ni de la reproducción material; por esta razón, puede decirse que en la economía popular las prácticas se reinventan, se recrean, se realimentan.

Todas estas estrategias solo pueden entenderse como prácticas que no hacen más que poner en evidencia la manera en que las mujeres se insertan en el mercado de trabajo local. Su trabajo como feriantes, además de caracterizarse por las condiciones laborales precarias y por la obtención de bajos ingresos, se trata de una actividad a tiempo parcial que les permite conciliar su tiempo con otro tipo de actividades también remuneradas que conforman lo que se conoce como doble/triple jornada laboral. A su vez, sus estrategias incluyen una variedad de alternativas de carácter complementario a su trabajo como feriantes, que les permite obtener ingresos mínimos y también ampliar su fondo de trabajo. Sin embargo, sus ingresos asumen la forma de *ayuda* y estas mujeres no hacen más que adaptarse a un régimen laboral construido sobre la predominancia de *lo masculino* y de lo que se considera productivo en la economía.

En suma, todas sus estrategias adquieren la forma de trabajo, en ellas se invierten diferentes tipos de capitales, se tejen redes sociales, se construyen tipos de solidaridad *sui generis* y, para asegurar su permanencia en este sistema de trabajo, las trabajadoras destinan su tiempo para construir prácticas estratégicas que faciliten y concilien entre sí sus trabajos remunerados y no remunerados, domésticos y extradomésticos.

Con base en el análisis de sus testimonios, se identificó que estas mujeres dedican gran parte de las horas del día al trabajo no remunerado; desagregar esta definición nos permite comprender la manera en que administran su tiempo. Por un lado, el tiempo se destina a actividades que garantizan en forma prioritaria el bienestar de otros miembros de la UD; por otro lado, también se dirige a las tareas de cuidado (sobre todo, de personas dependientes, trátese de niños/as, ancianos/as o en-

fermos/as). El último factor es la ausencia de la remuneración. De todas maneras, no pretendemos cuantificar las horas destinadas a cada una de estas actividades, sino, por el contrario, queremos describir las situaciones que conducen a las mujeres a realizarlas.

Todo ello es visible cuando identificamos en los relatos de las trabajadoras la cantidad de actividades que realizan de manera simultánea, así como también la dedicación y afectividad con la que las realizan. Tal simultaneidad congrega actividades que superan la dicotomía *producción vs reproducción*, y se basa, sobre todo, en el factor *remuneración vs ausencia de remuneración*. D'Alessandro (2016) sostiene: "Las mujeres hacen todo y al mismo tiempo, y lo hacen a costa de su propia sobreexplotación o de distintas formas de empobrecimiento de su vida cotidiana" (p.19).

El horario en el que comienzan sus jornadas puede interpretarse como una constante que se extiende al resto de los casos. Todas comienzan su día entre las 5 y 8 a.m., con actividades principalmente destinadas al ámbito doméstico y de cuidado, lo que conduce a pensar que ser ama de casa requiere la disposición de largas horas del día, cuestión que no se encuentra reducida a pesar de trabajar también fuera del hogar. En Argentina, nueve de cada diez mujeres hacen labores domésticas (trabajen fuera del hogar o no) mientras que cuatro de cada 10 varones no hace absolutamente nada en la casa (a pesar de estar desempleados). Esto es algo que se reproduce en todo el mundo (...) donde la idea de ser "ama de casa" implica un no-trabajo, que refuerza el control de los roles pre-establecidos que tanto moldean la vida de hombres y mujeres más allá de los deseos y posibilidades (p.18). En suma, el tiempo que destinan mujeres y varones a las labores domésticas está, en palabras de D'Alessandro (2016) muy desbalanceado: ellos dedican más tiempo a los trabajos pagos mientras que ellas son quienes hacen el trabajo no pago del hogar (p.49).

Además de trabajar en la feria y de tener otros tipos de trabajos remunerados, las mujeres soportan tareas domésticas, de cuidado y hasta comunitarias. Sus posibilidades se encuentran condicionadas no sólo por la cantidad de tareas que realizan y el tiempo destinado a cada una de ellas, sino por la carga emocional, psicológica, afectiva que recae sobre sus cuerpos en forma de responsabilidades consideradas exclusivamente "femeninas".

La elección de trabajar en la feria, quizás pueda explicarse a partir de la flexibilidad que caracteriza este tipo de trabajo, lo que les permite conciliar y hacer equilibrio en sus múltiples actividades y compatibilizar las horas de trabajo fuera del hogar y "ser madres" al mismo tiempo. El componente afectivo-amoroso que generalmente se utiliza para justificar las extensas jornadas de trabajo de las mujeres, -en particular el trabajo de cuidado de los/as hijos/as y ancianos- disfraza la idea misma de lo que se considera trabajo. Para asistir a la feria, por ejemplo, las mujeres se aseguran que las tareas del hogar ya estén realizadas, o asignan a sus hijas los cuidados y recomendaciones domésticas hasta su regreso. Volver de la feria temprano para poder cocinar, levantarse dos horas antes de asistir al trabajo para lavar y "ganar tiempo", participar sólo los días sábados de la feria porque los domingos son exclusivos para lavar y dejar todo preparado para la semana, son indicadores de una administración del tiempo "desbalanceada" y "precaria" que actúa en desventaja para ellas. De todas maneras, como dijimos, estas tareas no impiden su participación en tareas remuneradas funcionales al mercado de trabajo, sólo que el tiempo dedicado a las mismas se encuentra condicionado por la jornada doméstica.

*El sector de trabajadores turístico de la ciudad de Las Termas de Río Hondo*

Debido al carácter temporal y estacional de la actividad turís-

tica, la insuficiencia de regulación, la falta de organización del trabajo y el limitado cumplimiento de la normativa, el sector turístico se desarrolla en una zona indefinida, entre la economía formal e informal, el cual se caracteriza por un alto grado de informalidad (Gordillo y Hernández 2013). Los trabajadores migrantes, los jóvenes y las mujeres son específicamente los más vulnerables a la perpetuación de condiciones de empleos precarios e informales en un ambiente de trabajo que es menos favorable y seguro que los entornos de trabajo de los demás trabajadores.

Si bien, más allá de las condiciones de precariedad e informalidad, una de las premisas más importantes para los trabajadores y las trabajadoras del sector, teniendo en cuenta su relato, es acceder a un puesto de trabajo. Ya que si bien, las diferentes situaciones personales derivan en la incertidumbre -por el trabajo estacional-, una de las más importante es acceder nuevamente al puesto de trabajo que finalizaron una vez terminada la temporada turística.

La falta de empleo en su lugar de origen, hace que estos trabajadores renuncien a sus derechos, ya que lo único que importa es volver a ser contratados, y reclamar, significaría perder su empleo. La rotación que genera esta modalidad de trabajo, no solo recorre el camino del empleo temporal al desempleo, sino también, produce una movilidad muy alta de estos sujetos que sufren cambios permanentes en lo relativo a su actividad. Este método de contratación se repite nuevamente para aquellos trabajadores y trabajadoras que migran hacia la costa atlántica (San Bernardo, Mar del Plata, Villa Gesell, etc.) en la temporada turística de verano. Ya que estos empleadores aprovechan la metodología de trabajo utilizada -por los empleadores de la ciudad de Las Termas de Río Hondo- para aplicarla en sus respectivas contrataciones, en condiciones de trabajos mucho más precarias.

Así mismo, de acuerdo a lo mencionado por los y las en-

travestadas, los arreglos contractuales realizados por algunos empleadores, no escatiman la duración del contrato, tampoco destacan los beneficios no salariales como la seguridad social, antigüedad en el empleo y la rotación laboral. Para estos trabajadores, la posibilidad de estar incluidos transitoriamente como asalariados es una alternativa digna a modo de representación, debido a que sus condiciones de vida logran minimizar los riesgos cotidianos a los que se enfrentan y, de este modo, flexibilizar la precariedad laboral sería una ventaja para evitar el desempleo. Para Torres (2018), referirse a la ausencia de beneficios sociales y laborales de los trabajadores y trabajadoras es hablar de informalidad, lo cual demuestra la falta de registración y la ausencia de todos aquellos derechos que, por ley, les pertenecen a todos los que trabajan en relación de dependencia, como el acceso a una obra social o cobertura de salud, los aportes previsionales, el cobro de aguinaldo y las vacaciones pagas.

Los perfiles de trabajadores más demandados por las empresas en el sector turístico de la ciudad de Las Termas de Río Hondo son los siguientes: recepcionistas, mozos, mucamas, animadores, ayudantes de cocina y cocineros. Muchos de esos trabajos son realizados por mujeres preferentemente solteras y sin hijos, condicionamientos expresados, en algunos de los casos, para poder obtener el puesto de trabajo. Las abusivas cargas horarias y la crisis económica también son factores que contribuyen en el empeoramiento de las condiciones laborales y de conciliación de la vida familiar y profesional. Muchas veces, esos trabajos son abandonados por un tiempo y retomados por diferentes motivos. Según una de las voces recogidas: "[...] la patronal, cuando nos contrata, nos hace figurar tres meses de los seis trabajados, y cuando termina la temporada nos hacen renunciar, como condición para que nos vuelvan a contratar al otro año...".

Las formas irregulares de empleo que comprende el trabajo

temporal, el trabajo a tiempo parcial y otros acuerdos contractuales con múltiples partes, el trabajo autónomo independiente y las relaciones de empleo confusas, son las modalidades que caracterizan la fragmentación, diversidad y estacionalidad de la actividad turística en Las Termas de Río Hondo.

La temporalidad laboral es función de la estacionalidad del empleo; esto se traduce en trabajos inestables y de tiempo parcial, y en algunos casos varían según algunos condicionantes. El trabajo de tiempo parcial es una expresión tradicional del empleo turístico en Las Termas de Río Hondo; en los últimos tiempos ha tomado relevancia por la diversificación de sus formas, entre las cuales se encuentran estas modalidades: el trabajo a tiempo parcial sustancial (de veintiuna a treinta y cuatro horas a la semana); el trabajo a tiempo parcial de corta duración (veinte horas o menos) y el trabajo de tiempo parcial marginal (menos de quince horas a la semana) (OIT, 2010). En algunas ocasiones, estas formas de trabajo pueden basarse en un número de horas muy reducidas o de horarios irregulares impredecibles, en donde los empleadores no tienen ningún tipo de obligación de asegurar el número específico de horas de trabajo. Este tipo de contrato a tiempo parcial es el que se presta a cometer más abusos por parte de los empresarios o empresarias del sector, los cuales refuerzan la precariedad laboral de estos trabajadores por los bajos ingresos, la vulnerabilidad, inestabilidad y, en muchos de los casos, la inaccesibilidad a prestaciones y servicios sociales.

Las expectativas laborales de los trabajadores y trabajadoras del sector turístico de la ciudad de Las Termas de Río Hondo ponen de manifiesto la aspiración por un empleo que les garantice estabilidad, que les permita satisfacer necesidades de subsistencia propias y las de sus familias. De esta forma, estos trabajadores encuentran un escenario muy diferente a sus perspectivas, en donde la oferta laboral está representada, en muchos de los casos, por trabajos de mala calidad, mal

remunerados y con una alta exigencia horaria. Asimismo, el problema central para estos trabajadores no sería solo la estacionalidad del empleo, sino también la precariedad laboral a las que están sometidos, la cual está comprendida por los arreglos contractuales y la limitada duración del contrato -temporal, estacional, ocasional, etc.-, por un lado. Y, por otro lado, se suman las condiciones de trabajos precarias: salarios bajos, la falta de acceso a la protección social, la escasa protección frente al despido y la limitada o nula posibilidad de estos trabajadores y trabajadoras de ejercer sus derechos en su lugar de trabajo.

La inestabilidad laboral y su respectiva precarización hace que el poder adquisitivo de estos trabajadores no pueda hacer frente a la inflación de estos últimos años, provocada por la devaluación del peso, el aumento de tarifas, de combustibles, servicios y productos. Más allá de los aumentos salariales que puedan llegar a pactarse entre gremios y sindicatos, y sus debidas intervenciones para velar por los derechos de los trabajadores, muchos de ellos se han hecho eco y se han mostrado disconformes por el nulo accionar, ya que su situación, a pesar de los años, no ha tenido cambios significativos en cuanto a materia de derechos.

La baja productividad, la competitividad, los modos de contratación, la falta de información sobre los derechos de los trabajadores y el limitado acceso al desarrollo profesional son resultado de la escasa, y en muchos de los casos de la ausencia, de formación y capacitación del sector turístico; la suma de estos factores es la que conduce a todo tipo de informalidad.

## Conclusiones

A partir de la concepción del trabajo en sus diversas formas, el artículo 14 bis de nuestra Constitución Nacional estableció



una serie de derechos laborales, tanto a nivel individual y colectivo, así como los beneficios de la seguridad social. Luego, con la reforma constitucional de 1994, se incorporaron a nuestra Constitución diversos tratados internacionales sobre derechos humanos (Art. 75 inc.22), consagrando con jerarquía constitucional y *status supra* legal el derecho internacional de los derechos humanos y, con él, el derecho al trabajo. Este es un derecho humano fundamental que resulta esencial para la realización de otros derechos humanos y constituye una parte inseparable e inherente a la dignidad humana (Gialdino, 2013). Su contenido se extiende en un doble sentido: por un lado, el de acceder a un puesto de trabajo y, por el otro, el derecho a no ser despedido sin una justa causa (Meik, 2010). Trabajar es, por lo tanto, toda actividad productiva y creadora del hombre (según el artículo 4° de la Ley de Contrato de Trabajo), emanada de un acto de su propia voluntad, con el fin de procurar su realización como persona, pero también de contribuir a la generación de riqueza en el proceso productivo.

Sin embargo, se observa, de manera transversal a las distintas ramas de actividad analizadas, la existencia de un muy reciente (como en el caso de las trabajadoras de casas particulares), insuficiente (sector turístico y cooperativo) o prácticamente nulo marco normativo (trabajadores de la economía popular) que regule y proteja dichas actividades laborales. Esta última cuestión se traduce en diversas situaciones de indefensión e inseguridad jurídica, sumadas a la negación de derechos laborales, tales como la cotización al sistema de seguridad social, falta o deficiente registración, beneficios que derivan de la negociación colectiva, salarios por debajo de lo establecido por ley, el cómputo o reconocimiento de los años de servicio como experiencia laboral y derechos de libertad sindical consistentes en la afiliación o formación de un sindicato o asociación profesional de su elección o el ejercicio de toda actividad colectiva en defensa de sus intereses entre otros.

Como expresamos en los casos analizados, se vive en un escenario cada vez más adverso que precariza, segrega y fragmenta, a través de múltiples mecanismos, la vida de los trabajadores y las trabajadoras. La presencia de la informalidad y la precariedad en las principales ocupaciones parece convertirse en una constante que persiste y afecta las condiciones laborales. Es necesario, entonces, generar las instancias y las oportunidades para revertir situaciones que estructuralmente demandan tratamiento y cambios posibles.

Todo ello, sobre todo, si consideramos la inserción de las mujeres en el mercado de trabajo en nuestra provincia, en particular a la luz de los casos analizados, podemos observar que el servicio doméstico aparece entre las primeras opciones (y, por qué no, la principal) de trabajo de mujeres de sectores populares, jóvenes, sin estudios finalizados, etc. En ese sentido, si bien el servicio doméstico se constituye como el denominador común en la vida laboral de las mujeres, este se realiza en condiciones precarias en todos los casos. Entonces, si como ciudadanos tenemos derecho y acceso a un trabajo, ¿todos/todas lo hacemos en las mismas condiciones?

Las situaciones de desigualdad que se ponen en evidencia a partir de la inserción en condiciones laborales informales y precarias generan circunstancias de continua incertidumbre que pueden tener repercusión, además, en otros aspectos de la vida vinculados con la satisfacción con la tarea, la concreción de un proyecto de vida y la planificación presente y futura de la vida personal y familiar; además, atenta contra las potencialidades de los sujetos, sus márgenes de acción, etc. Estas situaciones se agudizan aún más en contextos de crisis, en los cuales un creciente número de mujeres se enfrenta al dilema de trabajar, cuidar, ingeniarse y subsistir, cuando el modelo de mujer ama de casa y varón proveedor ya no es factible, ni deseable, para muchas de estas mujeres. Frente a las experiencias de exclusión del mercado laboral, profundizadas por el trabajo

doméstico y no remunerado -en especial de las mujeres que tienen cargas de cuidado-, se presenta un dilema cotidiano que desemboca en la construcción de repertorios de acción colectiva.

Finalmente, consideramos que, ante un presente y un futuro fortuitos, quedan abiertas las preguntas sobre los modos en que las diferentes desigualdades afectan y se expresan en el mundo del trabajo; esto se constituye en nuevos desafíos para la organización colectiva de trabajadores y trabajadoras que puedan velar por la garantía de sus derechos laborales.

## Bibliografía

- Achilli, Elena. (2005). *Investigar en antropología social*. Argentina: Laborde libros.
- Andújar, A. (2005). *Mujeres piqueteras: la repolitización de los espacios de resistencia en la Argentina (1996-2001)*. Informe final. Buenos Aires: CLACSO.
- Arango Gaviria, L. (2002). "Identidad, género y trabajo en los estudios latinoamericanos". En *Cahiers des Amériques latines*. (39), pp. 37 – 58.
- Barrancos, Dora (2000). "Inferioridad jurídica y encierro doméstico". En *Historia de las Mujeres en la Argentina* (T.1) Buenos Aires: Alfaguara.
- Baylós Grau, Antonio (2009). "Consideraciones sobre el despedido individual y la garantía judicial del derecho al trabajo". En *Revista Derecho Social*. (46), pp. 11-30.
- Bertranou, Fabio y Casanova, Luis (2014). *Informalidad laboral en Argentina. Segmentos críticos y políticas para la formalización*. Buenos Aires: Oficina de País de la OIT para Argentina.
- Blázquez Graf, N. (2012). *Acerca de la investigación y la metodología feminista: Epistemología, metodología y representaciones sociales*. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Facultad de Psicología, UNAM..
- Cabello de Alba, Laura Mora y Rodríguez Fernández, María Luz. (2017). *El Futuro del trabajo que queremos*. Albacete, España: Ed. Bomarzo.
- Cajal, Jorgelina (2019). *Políticas turísticas y sus implicancias en el contexto social de las Termas de Río Hondo en el período 2008-2018*. Tesis final de grado de la Licenciatura en Sociología. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Canevari, Cecilia e Isac, Rosa (2016). "Territorios de violencia patriarcal: doce años de femicidios en Santiago del Estero (2002-2014)". En *Trabajo y Sociedad*. (26), pp. 257-284.
- Carrario, Marta y Freire, Jorgelina (2010). La representación de las mujeres en el sindicalismo neuquino: De la Comisión de

- Mujeres en FaSinpat al Cupo Femenino en SOECN. Neuquén (2000-2009). En *La Aljaba Segunda época. (XIV)*, pp. 103-120
- Castel, Robert. (1995) *Las metamorfosis de la cuestión social. Una crónica del salariado*. Buenos Aires: Paidós.
- Chávez Carapia, J. (2005): *Trabajo doméstico*. México: Centro de Estudios de la Mujer. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Cutuli, Romina (2018). "Representatividad y desigualdades interseccionales. Un análisis del debate legislativo del Régimen Especial de Contrato de Trabajo para el Personal de Casas Particulares. Argentina, 2013". En *Revista Latinoamericana de Antropología del Trabajo*. 2 (4), pp. 1-27.
- Cutuli, Romina y Pérez, Inés (2011). *Trabajo, género y desigualdad. El caso de las empleadas domésticas en Mar del Plata, 2010-2011*. Ministerio de Trabajo de la Provincia de Buenos Aires.
- Cutuli, Romina. (2016). "Género y trabajo emocional. Los fundamentos de la precariedad en el nivel inicial. Mar del Plata, Provincia de Buenos Aires". En *Revista Trabajo y Sociedad*. (28), pp. 37-54.
- D'Alessandro, Mercedes. (2016). *Economía feminista: como construir una sociedad igualitaria sin perder el glamour*. Buenos Aires, Argentina: Sudamericana Editorial.
- Díaz, Ramon y Zurita, Carlos (2000). "Sector informal y subutilización en una ciudad intermedia de la Argentina. Sobre la conformación del empleo en Santiago del Estero". En Pannaia, Marta, Aparicio, Susana y Zurita, Carlos (comp.). *Trabajo y Población en el Noroeste Argentino*. Salta: Editorial La Colmena.
- Dombois, Rainer (1998). *Trayectorias laborales en la perspectiva comparativa de obreros en la industria colombiana y la industria alemana*. Santafé de Bogotá: Editorial Anthropos.
- Eguía, Amalia, Piovani, Juan y Salvia, Agustín (2007). *Género y trabajo: asimetrías intergéneros e intragéneros. Áreas metropolitanas de la Argentina, 1992-2002*.

- Buenos Aires: Eduntref.
- Argentina. Ministerio de Economía y Finanzas Públicas. Instituto Nacional de Estadística y Censos (2014). *Encuesta sobre trabajo no remunerado y uso del tiempo. Tercer trimestre del 2013, resultados por jurisdicción*. Disponible en: [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/tnr\\_07\\_14.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/tnr_07_14.pdf)
- Faur, Eleonor y Tizziani, Ania (2017). "Mujeres y varones entre el mercado laboral y el cuidado familiar". En Eleonor Faur (comp.). *Mujeres y varones en la Argentina de hoy. Géneros en movimiento* (pp.75-98). Buenos Aires: Siglo XXI.
- Federici, Silvia. (2018). *El patriarcado del salario. Críticas feministas al marxismo*. Madrid: Traficantes de sueños.
- Fournier, Marisa (2017). "La labor de las trabajadoras comunitarias de cuidado infantil en el conurbano bonaerense, ¿una forma de subsidio "de abajo hacia arriba"?". En *Revista Trabajo y Sociedad*. (28), pp. 83-108.
- Gialdino, Rolando (2013) *Derecho Internacional de los Derechos Humanos: Principios, Fuentes, Interpretación y Obligaciones*. Buenos Aires: Abeledo Perrot.
- Giménez, Mariano (2019). "Subjetividad de los trabajadores del servicio de cadetería sobre la precariedad laboral". Ponencia presentada en 15° Encuentro de Jóvenes Investigadores, Biblioteca Sarmiento, Santiago del Estero, Argentina.
- Gorbán, Débora y Tizziani, Ania (2018). *¿Cada una en su lugar? Trabajo, género y clase en el servicio doméstico*. Buenos Aires: Biblos.
- Gorbán, Débora (2014). "De niñeras, cuidadoras y empleadas domésticas: una mirada sobre los procesos de selección de trabajadoras del cuidado entre familias de clases medias en la ciudad de Buenos Aires". Serie Documentos para discusión N°14. En *Instituto de Desarrollo Económico y Social* [en línea].
- Goren, Nora; Trajtemberg, David y Díaz, Estela. (2011). "Caracterización de la inserción laboral de las mujeres. Hacia el reconocimiento de los derechos laborales". Informe N°1.

- Colección: Mujeres y Trabajo*. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina: CEMyT.
- Goren, Nora. (2017). "Desigualdades sociolaborales. Una aproximación a sus marcos interpretativos desde la perspectiva feminista". En *Revista Latinoamericana de Antropología del Trabajo*. (2), pp. 1 – 21.
- INDEC (2014). *Encuesta sobre trabajo no remunerado y uso del tiempo. Resultados por jurisdicción-Tercer trimestre de 2013*. Buenos Aires.
- Lamas, Marta (2000). "La perspectiva de género". En *La Tarea, Revista de Educación y Cultura, Sección 47 del SNTE*. (8), pp. 1 – 10.
- Lavín, Analía (2006): *El trabajo doméstico. Decreto-Ley 326/56 Comentado y anotado con jurisprudencia*. Córdoba: Lerner Editorial.
- Ledesma, Reinaldo, Paz, Jorge y Tasso, Alberto (2011). *Trabajo rural estacional en Santiago del Estero*. Buenos Aires: OIT.
- Llerena Suste, Selene, Muñóz, Melisa, Ovejero, Manuel y Villares, Ramiro (2010). "El becario como una forma nueva de precarización laboral dentro de una organización pública". VI Jornadas de Sociología de la UNLP. Universidad Nacional de La Plata. Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Departamento de Sociología, La Plata.
- Meik, Moisés (2010) "El derecho fundamental al trabajo y la protección contra el despido arbitrario (Nulidad y reincorporación)". En: Luis E. Ramírez (coord.). *Relaciones laborales. Una visión unificadora* (p. 285-324). Buenos Aires: Editorial IBDF.
- Micha, Ariela. Pereyra, Francisca. (2019). "La inserción laboral de las mujeres de sectores populares en Argentina: sobre características objetivas y vivencias subjetivas". En *Sociedad e Cultura*. 22 (1), pp. 70-95.
- Muñiz Terra, Leticia (2012). "Carreras y trayectorias laborales: Una revisión crítica de las principales aproximaciones teórico-metodológicas para su abordaje". En *Revista Latinoamericana de Metodología de las Ciencias Sociales*. 2 (1),

- pp. 36-65.
- Rodríguez Enríquez, C. (2011). Programas de transferencias condicionadas de ingreso
- Muñiz Terra, Leticia; Roberti, Eugenia; Deleo, Camila y Hasicic, Cintia (2011). "Trayectorias laborales en Argentina: una revisión de estudios cualitativos sobre mujeres y jóvenes". *Laboratorio*. (25), pp. 57-79. En *Memoria Académica* [en línea].
- Muñoz, María Antonia; Villar, Lidia Inés (2017). "Confederación de Trabajadores de la Economía Popular (CTEP en la CGT). Entre la organización sindical y el conflicto político-social (Argentina, 2011-2017)". En *Revista de conflictos sociales latinoamericanos*. (5), pp. 22-52.
- Muñoz, María Antonia (2018). "Las marcas de los sujetos en el Estado. Los trabajadores de la economía popular y las políticas públicas en la Argentina reciente". En *Documentos Y Aportes En Administración Pública Y Gestión Estatal*. 18 (30), pp. 85-128.
- Oficina Internacional del Trabajo (2010). *Trabajo decente para los trabajadores domésticos*. Informe IV. Ginebra: OIT.
- Oficina Internacional del Trabajo (2010). *Trabajo decente y juventud en América Latina*. Lima: OIT.
- Olmos Castro, Amalio (1943). "El drama del servicio doméstico en Santiago del Estero". En *Anuario Estadístico 1942*. Santiago del Estero: Dirección General de Estadística, Registro Civil y Trabajo.
- Pereyra, Francisca y Poblete, Lorena (2015). "¿Qué derechos? ¿Qué obligaciones? La construcción discursiva de la noción de empleadas y empleadores en el debate de la Ley de Personal de Casas Particulares (2010-2013)". En *Cuadernos del Instituto de Desarrollo Económico y Social*. 30 (10), pp. 73-102.
- Quaranta, German, y Blanco, M. (2012). "Formas actuales de circulación y conformación de patrones migratorios de hogares rurales en la provincia de Santiago del Estero, Argentina". En *RURIS - Revista do Centro de Estudos Rurais*. 6 (1), pp. 127-158.



- Reid, Margaret (1934). *Economía de la producción familiar*. New York: J. Wiley & Sons.
- Rodríguez, Dinah y Cooper, Jennifer (2005). *El debate sobre el trabajo doméstico*. México: UNAM.
- Rojas Soriano, Raúl (2012). *Métodos para la investigación social. Una proposición dialéctica*. Ciudad de México: Plaza y Valdés Editores.
- Ruiz, Graciela y Zurita, Carlos (2002). "Roles de género en el mercado de trabajo: estrategias de ingresos, identidad laboral y clientelismo". En *Revista Trabajo y Sociedad*. 4.
- Saad Giuliano, Yanina (2019). "Programas de Transferencia condicionada, trayectorias laborales y desigualdades". Encuentro de Jóvenes Investigadores/15, Santiago del Estero.
- Salto, Héctor (2019). "Jóvenes y trabajo en Santiago del Estero a partir de 2015. Una mirada desde los datos". Encuentro de Jóvenes Investigadores/15, Santiago del Estero.
- Sayago, Eliana (2019a). *Estrategias de reproducción social utilizadas por las mujeres, en su trabajo remunerado y el uso del tiempo empleado en su trabajo no remunerado, en la feria de la economía popular "La Saladita" de la Ciudad Capital de Santiago del Estero, durante los años 2017-2018*. Tesis de grado de la Lic. en Sociología, FHCSyS, UNSE.
- Sayago, Eliana (2019b). "Desigualdades de género en el trabajo remunerado y no remunerado realizado por mujeres". Ponencia presentada en 15° Encuentro de Jóvenes Investigadores, Biblioteca Sarmiento, Santiago del Estero, Argentina.
- Sayago, Eliana y Molina, Agustina (2020). "Experiencias de la economía popular en el contexto de la pandemia COVID-19 en Argentina: Abordaje de casos en Córdoba Capital y la ciudad de Santiago del Estero, ante el aislamiento social, preventivo y obligatorio". En *Revista Idelcoop*. (231), pp. 145 – 176.
- Silveti, Jorge, Gurmendi, Noelia y Salvatierra, Rita (2017), "Cambio estructural y desarrollo productivo en Santiago del Estero. Periodo: 1994-2007". En *Revista Trabajo y Sociedad*. (29), pp. 377-390.

- Suárez María Florencia (2019a). "El despido sin causa y la protección constitucional del derecho al trabajo". En *Revista Temas de Derecho Laboral, Colección Compendio Jurídico*. Buenos Aires: Editorial Erreius.
- Suárez María Florencia (2019b) "Nuevas formas de trabajo: los trabajadores de la economía popular". En *Revista de la Facultad de derecho. Universidad Nacional de Córdoba*. X (1), pp. 111 a 121.
- Suárez, María Florencia (2020). "Reflexiones sobre el despido en Argentina y España. Garantías para la estabilidad en el trabajo". En *Revista Internacional y Comparada de Relaciones laborales y Derecho del Empleo*. 8 (2), pp. 122-149.
- Tasso, Alberto (2003). "Un caso de expansión agraria capitalista seguido por depresión. Santiago del Estero, 1870-1940". En *Población & sociedad*. 10 (1), pp. 109-136.
- Tasso, Alberto, y Zurita, Carlos (2013). "Aves de paso. Los trabajadores estacionales de Santiago del Estero". En *Trabajo y sociedad*. 21, pp. 33-47.
- Tizziani, Ania y Poblete, Lorena (2013). Presentación Dossier «Servicio doméstico y desigualdad social». En *Revista Estudios Sociales*. 45 (4). pp. 9-15
- Torns, Teresa (2008). "El trabajo y el cuidado: cuestiones teórico-metodológicas desde la perspectiva de género". En *EMPIRIA. Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*. 15, pp. 53-73
- Torres, Lucas (2018). "Informalidad y precariedad laboral entre las empleadas del servicio doméstico en Santiago del Estero". En *Journal de Ciencias Sociales de la Universidad de Palermo*. 6 (10), pp. 49-65.
- Torres, Lucas (2019). *El servicio doméstico en el conglomerado Santiago del Estero-La Banda Trabajo, género y desigualdad social en el interior argentino*. Tesis de Doctorado. Doctorado en Estudios Sociales de América Latina. Centro de Estudios Avanzados, Facultad de Ciencias Sociales, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Torres, Lucas y Sayago Peralta, Eliana (2020). "Conciliación del

- trabajo remunerado y no remunerado de mujeres de sectores populares. Desigualdades de género e informalidad laboral en Santiago del Estero, Argentina 2014-2019". En *Revista Latinoamericana de Antropología del Trabajo*. 4 (7), pp. 1 – 30.
- Wilkis, Ariel (2015). "Sociología moral del dinero en el mundo popular". En *Revista Estudios Sociológicos*. (XXXIII), pp. 553-578.
- Yuni, Jose y Urbano, Claudio (2014). *Técnicas para investigar: recursos metodológicos para la preparación de proyectos de investigación*. Córdoba: Editorial Brujas.
- Zurita, Carlos (1983). *El servicio doméstico en Argentina: el caso de Santiago del Estero*. Santiago del Estero: Instituto Central de Investigaciones Científicas, UCSE.
- Zurita, Carlos (1999): *El trabajo en una sociedad tradicional. Estudios sobre Santiago del Estero*. PROIT. CICyT-UNSE. Letras de Córdoba.

# IMPLEMENTACIÓN DE INICIATIVAS DE LA RESPONSABILIDAD SOCIAL EMPRESARIA EN SANTIAGO DEL ESTERO. UN ESTUDIO A PARTIR DEL CASO PRODUNOA S.A.

MÓNICA MARTINEZ<sup>1</sup>; NELVA CORIA <sup>2</sup>; VÍCTOR FERNÁNDEZ <sup>3</sup>;  
ANA ROSA RODRÍGUEZ<sup>4</sup>; CARLOS SOZA<sup>5</sup>

## Resumen

La responsabilidad social de las empresas es un enfoque actual y también un nuevo modelo de gestión que considera en sus decisiones, al menos, estas dimensiones fundamentales: la económica, la laboral, la ambiental y la de la comunidad. El

1 Magíster en Dirección de empresas, Lic. en Administración, Director del Proyecto "La responsabilidad social en las empresas de Santiago del Estero: una mirada desde algunos grupos de interés, situación actual y perspectivas". Profesora FHCSyS (UNSE).

2 Magíster en Ciencias Sociales, Lic. en Comunicación Social y Lic. en Sociología. Profesora FHCSyS (UNSE).

3 Especialista en Dirección de Recursos Humanos, Lic. en Administración. Profesor FHCSyS (UNSE).

4 Magíster en Derecho del Trabajo y Relaciones Laborales Internacionales. Abogada. Profesora FHCSyS (UNSE).

5 Máster Ejecutivo en Dirección de Empresas. Lic. en Administración. Profesor FHCSyS (UNSE).

objetivo del capítulo es presentar una primera aproximación de lo que surge del estudio de PRODUNOA S.A. Es una importante empresa, con treinta años de antigüedad, de propiedad mayoritaria de capitales locales, con 121 empleados; está dedicada a la producción de gaseosas, agua mineral y aguas saborizadas, que ofrece sus productos con estándares de calidad internacional. Con presencia en todo el país, lidera el mercado de las gaseosas en las regiones noroeste y noreste de la República Argentina. Con respecto al mercado nacional de gaseosas de marcas locales, está segunda en ventas.

Este estudio se centra en conocer cuál es la percepción y/o conocimiento de la responsabilidad social empresaria (RSE) e identificar las prácticas y estrategias de RSE, en cuanto a las dimensiones internas y externas. En la dimensión interna se analizan las variables: trabajadores (prácticas laborales, formación y educación, diversidad e igualdad de oportunidades, seguridad y salubridad), respeto por los consumidores (salud y seguridad del consumidor, atención al cliente, privacidad de datos) y medio ambiente (compromiso, prácticas de cuidado e impacto ambiental). En la dimensión externa se indaga acerca de las prácticas llevadas a cabo con la comunidad como grupo de interés externo, además de discernir la presencia o no de un modelo predominante de RSE. En dirección a obtener respuestas a los objetivos, el diseño metodológico contiene dos áreas de indagación. La primera se refiere a la opción por el estudio de casos, ya que se considera como la herramienta más idónea para desarrollar la comprensión de nuestro objeto de estudio, sus contextos, su particularidad y su complejidad. La segunda comprende el relevamiento documental que permitió sustentar y dar fundamento a algunos planteamientos. Simultáneamente, se aplicaron entrevistas en profundidad a directivos de la empresa orientadas a recoger relatos de experiencias que permitan analizar las prácticas de RSE que despliega la empresa.

El estudio muestra como resultado un diagnóstico empresarial de una pyme local.

Palabras clave: Responsabilidad social empresaria; pymes de Santiago del Estero; responsabilidad social empresaria en Santiago del Estero

## Summary

The social responsibility of companies is a current approach and also a new management model to consider in its decisions, at least these fundamental dimensions: economic, labor, environmental and community. The objective of the chapter is to present a first approximation of what arises from the study of PRODUNOA S.A. It is an important thirty-year-old company, majority owned by local capital, with 121 employees; dedicated to the production of soft drinks, mineral and flavored water, which offers its products with international quality standards. With a presence throughout the country, it leads the soft drink market in the NOA and NEA regions of the Argentine Republic. Regarding the national market for local brand soft drinks, it is second in sales.

This study focuses on knowing what the perception and / or knowledge of CSR is and identifying CSR practices and strategies, in terms of internal and external dimensions. In the internal dimension, the variables are analyzed: workers (labor practices, training and education, diversity and equal opportunities, safety and health), respect for consumers (consumer health and safety, customer service, data privacy) and environment environment (commitment, care practices, environmental impact). In the external dimension, it inquires about the practices carried out with the community as an external interest group.

In addition, to discern the presence or not of a predominant model of CSR. In the direction of obtaining answers to the objectives, the methodological design contains two areas of inquiry. The first refers to the option for Case Studies, since it is considered the most suitable tool to develop the understanding of our object of study, its contexts, its particularity and its complexity. The second includes the documentary survey that allowed to support and give foundation to certain approaches. Simultaneously, in-depth interviews were applied to company executives aimed at collecting experiences that allow analyzing the CSR practices that the company deploys.

The study shows as a result a business diagnosis of a local SME.

Keywords: Corporate social responsibility; SMEs from Santiago del Estero; corporate social responsibility in Santiago del Estero

## Introducción

El modelo económico clásico que postula que la única responsabilidad social de la empresa es incrementar los beneficios de sus accionistas ha entrado en debate, según Lantos (2001, citado por Cancino y Morales, 2008), con un nuevo modelo de gestión empresarial denominado modelo socioeconómico. Ambos modelos tienen una concepción distinta sobre la relación entre los aspectos sociales y los económicos. Por un lado, el modelo clásico se fundamenta en la concepción del economista liberal Milton Friedman (citado por Truño y Rialp Criado, 2008), el cual considera que las responsabilidades sociales son individuales y no empresariales, es decir, los responsables de los temas sociales son los accionistas con sus dividendos o los trabajadores con sus salarios y no la empresa con sus be-

neficios. Por otro lado, según Freeman (1984) y Carroll (1991), el modelo socioeconómico se basa en que, si la empresa no considera las necesidades y expectativas de los distintos grupos de interés, stakeholders, habrá un efecto negativo sobre su performance y sobre la rentabilidad de los accionistas y/o dueños. Esta nueva mirada de las relaciones de la empresa supone que los aspectos sociales son inseparables de los económicos y, además, mejoran la competitividad de la empresa (Porter y Kramer, 2006) y destaca que la responsabilidad social debe estar integrada a la cadena de valor y a la estrategia empresarial.

Las investigaciones relacionadas con la responsabilidad social empresarial, en adelante RSE, han sido de interés para la comunidad académica y empresarial y, principalmente, se ha enfocado en encontrar el efecto de la RSE sobre el desempeño económico-financiero, ambiental y social de las empresas.

Su aplicación se inició en las corporaciones, luego se fue extendiendo a otros tipos de organizaciones, como son las pequeñas y medianas empresas (pymes), y es evidente la importancia que empieza a cobrar la temática de la RSE en el escenario local.

El presente capítulo es producto de un proceso de investigación grupal iniciado hace unos años, que buscó caracterizar la situación y visualizar las tendencias posibles en cuanto al desarrollo de las relaciones entre empresa y algunos grupos de interés en pymes del conglomerado Santiago del Estero-La Banda. Con esta finalidad, se indagó sobre las estrategias sostenibles implementadas por empresas líderes en el ámbito local.

Se pretende, a partir de un caso de estudio, ofrecer algunos elementos para analizar este tipo de iniciativas y poner en valor las estrategias y acciones en RSE. Para Stake (1998), es el estudio de la particularidad y de la complejidad de un caso singular, para llegar a comprender su actividad en circunstancias concretas. En este tipo de investigaciones el análisis de expe-



riencias singulares cobra sentido porque permite responder a una pregunta o problemática que excede las particularidades del caso en cuestión (Stake, 1998).

En este sentido, examinar la experiencia concreta de un caso no constituye en sí la finalidad de la tarea investigativa, sino un medio para contribuir a desarrollar un campo de conocimiento más amplio que, en este trabajo, sería el desarrollo de iniciativas de RSE a nivel local.

El camino metodológico que se llevó adelante se concentra en el estudio de un caso: PRODUNOA S.A. Para su análisis se consideraron diversas fuentes, tales como documentos, informes, publicaciones y portal web de la empresa, los que aportaron información acerca del perfil de la empresa y sobre las acciones implementadas. Simultáneamente, se aplicaron entrevistas en profundidad a directivos de la empresa orientadas a recoger relatos de experiencias que permitan analizar las prácticas de RSE que esta despliega. Al respecto, la estrategia básica para el análisis de la información fue inductiva, es decir, mediante el trabajo analítico – interpretativo y a partir del contraste de las percepciones de los diferentes sujetos, se buscó la consistencia de los datos, pero también matices, divergencias o contrastes para dar cuenta de las apreciaciones y el conocimiento de los accionistas y directivos sobre la temática.

En lo que sigue, se presentan las diversas conceptualizaciones de la RSE, sus principios fundamentales y aspectos esenciales. A continuación, se describe el estudio empírico, objeto de este trabajo, se exponen algunas reflexiones y se plantean algunas consideraciones finales a partir del caso analizado.

## **Referente teórico de la responsabilidad social empresarial**

La RSE es un concepto en permanente evolución y desarrollo, con diferentes corrientes teóricas, cuya aplicación voluntaria

por parte de las empresas es paulatina y trasciende el cumplimiento de las leyes y las normas. Se considera que debe ser un compromiso ético, moral y social, que, aunque voluntario, contribuya con los accionistas/propietarios, con el mejoramiento de la calidad de vida de los empleados, sus familias y la comunidad en general; asimismo, se espera que se convierta en una fuente de ventaja competitiva sobre las demás empresas que operan en un sector determinado.

Para Carroll (1991), se trata de una construcción formada por cuatro dimensiones:

- Responsabilidad económica: esta es relativa a los negocios propiamente dichos, esto es, ve a la empresa como una institución con utilidad económica básica de la sociedad y, como tal, tiene la responsabilidad de producir bienes y servicios que la sociedad desea y venderlos con ganancia.

- Responsabilidad legal: se refiere a las leyes vigentes que representan a las "reglas de juego" a través de las cuales los negocios deben funcionar.

- Responsabilidad ética: representa el comportamiento y las normas éticas vigentes que la sociedad espera de los negocios.

- Responsabilidad discrecional: consiste en las acciones positivas de la gerencia en respuesta a las expectativas sociales y representan los roles voluntarios que los negocios asumen. Esas actividades son guiadas por el deseo de los negocios en encajar en roles sociales no legalmente obligatorios y tampoco resultan de las expectativas del marco ético vigente.

De acuerdo con Vallaeys (2007), la RSE es un conjunto de prácticas de la organización que forman parte de su estrategia corporativa, cuya finalidad es evitar daños y/o producir beneficios para todas las partes interesadas en la actividad de la empresa; tales prácticas deben traducirse en un beneficio tanto para la organización como para la sociedad. Por su parte, la norma ISO 26000 de International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización) pro-

porciona orientación sobre cómo las empresas y las organizaciones pueden operar de una manera ética y transparente que contribuya al desarrollo sostenible teniendo en cuenta las expectativas de las partes interesadas y de la legislación aplicable, y deben estar integradas en las actividades cotidianas de la organización (Instituto Argentino de Normalización y Certificación, IRAM 2011).

Ahora bien, partiendo de que cada organización está inmersa dentro de la sociedad y establece vínculos con ella, y de que no se pueden considerar como elementos completamente independientes, deriva la relevancia de contemplar todos los grupos que tienen un interés por la empresa sin importar si están en el interior o hacia el exterior de la misma. Las partes interesadas (stakeholders), como señala Freeman (1984), son las personas que pueden afectar o verse afectadas por las actividades que desarrolla una organización; otra forma de verlos es como los intermediarios requeridos para lograr el cumplimiento de los planes organizacionales. En cualquiera de las dos acepciones, es importante construir relaciones duraderas que favorezcan la colaboración entre las partes. Las organizaciones, en general, están permanentemente en la búsqueda de estrategias que les permitan mejorar y dar respuesta a aquello que esperan y exigen los stakeholders, como señalan Vallaey (2007) y las normas ISO 26000 en la definición de RSE (IRAM 2011).

De modo que, los grupos de interés internos están conformados por los que tienen una relación directa con los aspectos organizacionales y funcionales de la empresa. Se incluyen dentro este grupo a los siguientes sectores:

- Trabajadores: personas que desarrollan su trabajo en la organización con un contrato y una retribución dineraria y/o en especie. En términos generales, los podemos agrupar en directivos y no directivos.

- Accionistas/propietarios: personas o entidades que po-

seen participación en la propiedad de la empresa.

Los principales grupos de interés externos de la empresa se pueden clasificar en grupos de interés relativos al entorno y grupos del contexto.

Los grupos de interés perteneciente al entorno representan una vinculación directa con el negocio y, en consecuencia, conforman su periferia estratégica:

-Clientes: consumidores o usuarios de los bienes y servicios producidos por la empresa: es el grupo social al que se dirige la empresa y se considera imprescindible para la supervivencia de la empresa.

-Proveedores: personas y organizaciones que aportan trabajos, productos y servicios a la empresa sin pertenecer a ella.

-Competidores: empresas del mismo sector que ofrecen bienes y servicios similares a los producidos por otra empresa, a los mismos clientes o consumidores.

-Agentes sociales: grupos de interés público que con su accionar pueden influir de manera determinante en la forma de gestionar la empresa. Se incluye los sindicatos de trabajadores, asociaciones de consumidores, acreedores, grupos de opinión como los medios de comunicación y ONG, etc.

En cambio, los grupos de interés del contexto lo ocupan los que se vinculan en un segundo orden de relaciones:

-Comunidad local: conjunto de entidades de iniciativa pública o privada del entorno local circundante a la actividad de la empresa con la que interactúan estrechamente: iglesia, asociaciones, ONG, fundaciones, partidos políticos, etc.

-Gobierno (municipal, provincial y nacional): los poderes públicos reconocen derechos e imponen deberes a las organizaciones.

Como es sabido, la RSE incluye varias áreas de gestión de la empresa en forma directa. Precisamente, las áreas de contenido o dimensiones que deberían considerar las empresas cuando diseñan sus propias estrategias de responsabilidad social

están indicadas por organismos internacionales que estudian el tema, especialmente la Organización de las Naciones Unidas, GRI (Global Reporting Initiative) e ISO. En efecto, la RSE abarca entonces la dimensión interna y externa; la primera incluye:

a) Gestión de recursos humanos: remuneración razonable, calidad de vida digna, posibilidades de desarrollo, entrenamiento; estabilidad programada, igualdad de retribuciones y perspectivas para las mujeres, equilibrio trabajo–familia.

b) Salud y seguridad en el lugar de trabajo: están relacionadas con las condiciones de trabajo en la empresa y también de los contratistas.

c) Gestión del impacto ambiental y de los recursos naturales: incluye aspecto tales como la disminución de consumo de recursos, prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente.

d) Actuación económica: impuestos pagados, dividendos, comercio justo.

e) Gobernabilidad corporativa: se relaciona con el sistema de reglas y prácticas que dirigen y controlan las empresas, la distribución de derechos y responsabilidades entre los diferentes actores vinculados con las empresas y la toma de decisiones.

Por su parte, su dimensión externa abarca:

a) Las comunidades locales: se sugiere la integración de las empresas con su entorno local a fin de tener una participación activa en el desarrollo de la comunidad.

b) Los proveedores: se espera que los proveedores como integrantes de la cadena de valor estén alineados con la posición de la empresa frente a la RSE.

c) Los consumidores: implica ofrecer a los consumidores productos en condiciones aceptables de calidad, servicio, plazo y precio. Incluye aspectos tales como salud y seguridad del cliente, etiquetado de bienes y servicios, comunicaciones de marketing y privacidad de los datos del cliente, entre otros.

d) El desarrollo sostenible del medioambiente.

e) Las alianzas entre Estado, sociedad civil y empresa para lograr el fortalecimiento del tejido social.

Asimismo, existen diferentes tipos de estrategia que pueden utilizarse para relacionarse con los diferentes actores de la sociedad a fin de dar respuesta a sus expectativas. Una de ellas es la filantropía, que conjuga las razones del “deber social” y de la “solidaridad”. En este nivel se piensa en dar sin esperar nada a cambio, con lo cual se intenta responder: ¿cuánto damos? Esta acción es adecuada cuando se asume como estrategia coyuntural que se pone en práctica para atender situaciones puntuales.

Otra de las estrategias es la inversión social, en la que se plantea el interrogante: ¿cuál es el compromiso que se asume con los beneficiarios y cuáles son los impactos que se promueven con la acción? La inversión social considera la existencia de una correspondencia con los resultados de la acción, con los impactos que ella produce en los actores sociales que actúan como ejecutores o beneficiarios y, finalmente, con el retorno a la empresa, así como a las personas que la conforman.

Por último, la integración social que se proyecta hacia una integración con los beneficiarios que se condice con la pregunta “¿cómo podemos crecer juntos?” representa una prolongación de la inversión social, pero con un compromiso y una participación más explícita y enfocada.

## **Presentación de PRODUNOA S.A.**

En las primeras décadas del siglo XX, en la ciudad de Santia-

go del Estero, la familia Secco<sup>6</sup> inicia sus actividades con una fábrica de hielo; tiempo después deciden incorporar a su actividad la elaboración de bebidas sin alcohol ni conservantes. Así nació la Bilz Secco. Hasta ese momento (1915-1970), el negocio se manejaba como una empresa típicamente familiar, sin un acuerdo explícito que definiera las relaciones entre la familia y la empresa.

A inicios de la década de 1970, las ventas comenzaron a incrementarse, se adquirieron nuevas maquinarias y se anexaron sabores.

En esos años, la empresa continuó modernizándose con la obtención de máquinas automáticas de llenado, a partir de lo cual se produce un hito en la vida de la entidad. De ahí que la tercera generación ingresa a la empresa y se registra como marca "Gaseosa Secco". Tiempo después, en 1979, la empresa pasa a manos de Miguel Tauil, quien decide en 1991 vender la marca a PRODUNOA S.A. Un año más tarde, se traslada la planta al predio del parque industrial La isla, lugar de su funcionamiento actual. Del mismo modo, se realizaron fuertes inversiones con el objetivo de aumentar la producción y expandir mercados. Así, en 1993, se desarrollan nuevos productos y marcas, y se implementa el envase PET (plástico de tipo polietileno tereftalato) en distintos calibres.

En el año 1995, la sociedad anónima cambia de accionistas y, al asumir los nuevos miembros, se genera un crecimiento más acelerado y se consolidan las distintas marcas a nivel nacional. Sin duda, se constituye como la primera empresa del norte argentino en elaborar preformas, insumo estratégico para la elaboración de la botella de plástico, y con ello completa el proceso de elaboración (inyección, soplado y llenado).

6 Familia de inmigrantes italianos (Sebastiano Pietro Secco y Angelina Giacomo Todesco y sus hijos Giovanni, Giacomo y Paola) que se radica en Santiago del Estero fines del siglo XIX.

Actualmente es una empresa dedicada a la producción y comercialización de bebidas gaseosas, agua mineral y aguas saborizadas. Sus productos se comercializan en todo el país. En particular, se elaboran bebidas gaseosas, agua mineral, aguas saborizadas y soda, las que se comercializan a través de sus marcas propias: Secco, Secco sin azúcares, agua con gas y sin gas Bio Sports y soda Secco. Cada uno de estos productos tiene distintas presentaciones y tamaños y con ellos se pretende cubrir las necesidades de todos los segmentos del mercado.

En sus operaciones, la empresa utiliza equipamiento de última generación y posee un sistema de gestión de calidad e inocuidad. De hecho, toda la materia prima e insumos son comprados a empresas líderes del mercado mundial, y la experiencia y los conocimientos de sus recursos humanos le permiten obtener productos de la más alta calidad. La innovación, la búsqueda incesante de mejoras continuas y la vocación puesta al servicio de las necesidades cambiantes de los consumidores permitieron a esta empresa posicionarse a nivel nacional como una de las empresas nacionales líderes del país.

Todos los productos elaborados por la firma son distribuidos, en todo el país, a más de 60.000 negocios a través una red de más de 200 distribuidores, para llegar de este modo al consumidor final. Así pues, la empresa considera que cada uno de sus productos está basado en tres pilares fundamentales: diferenciación de marcas, calidad de los productos elaborados y constante innovación.

### **Percepción de la responsabilidad social en los niveles gerenciales de la empresa**

Los datos provenientes de las entrevistas individuales y de la documentación institucional recabada se clasificaron en un conjunto de categorías descriptivas que sirvieron de base para



el trabajo de interpretación de líneas de sentido cristalizadas en las percepciones que los accionistas y directivos tienen respecto a la existencia de las prácticas de RSE y las que se reconocen como existentes.

Así pues, las prácticas correspondientes a RSE son percibidas como existentes. De hecho, a partir del año 2015 la empresa puso mayor énfasis en la aplicación de la responsabilidad social, la cual surge de la necesidad, percibida por la misma empresa, de retribuir a la sociedad por elegir sus productos. Precisamente, el gerente general expresa que “[...] la RSE les interesa a los dueños, siempre están dispuestos a ayudar, colaborar y a dar una mano a diferentes personas, grupos o instituciones de la sociedad”, “[...] todo lo que ha surgido en torno a la RSE ha nacido de nosotros”, “[...] estamos creciendo desde adentro hacia afuera en nuestra mirada y acciones de responsabilidad social” (M. Pérez, comunicación personal, 10 de marzo de 2020).

Cuando es consultado sobre la visión, Pérez expresa que “apostamos a ser la mejor opción en bebidas, elaborando solamente productos de excelencia”. Del mismo modo, con respecto a la misión, indica lo siguiente:

Somos una empresa dedicada a la elaboración de bebidas. Estamos comprometidos con la sociedad, por lo tanto, producimos responsablemente con insumos de organizaciones, que al igual que nosotros, ofrecen productos con estándares de calidad internacional. Nuestro principal diferenciador es la gente que trabaja todos los días en conseguir productos de excelencia, brindando soluciones innovadoras para el mercado, respondiendo de manera personalizada a cada uno de los desafíos que se plantean día a día y dando respuesta a las inquietudes de nuestros clientes. Utilizamos la última tecnología disponible en el mercado para automatizar procesos que nos permitan elaborar más y mejor. Las normas internacionales de calidad y las reglamentaciones legales de la industria, son solo puntos de partida de nuestra

gestión cotidiana. (Pérez, 2020)

Las declaraciones de visión y misión se apoyan en los siguientes valores (PRODUNOA S.A.)<sup>7</sup>, definidos de la siguiente manera:

-Servicio: entendemos que la producción y comercialización de nuestros productos tiene como pilar fundamental la atención a las necesidades del cliente, a través de servicios personalizados.

-Innovación: estamos en la búsqueda constante de nuevas y mejores formas de producción, comercialización y comunicación. El mercado cambia, nosotros nos adelantamos y lo acompañamos.

-Responsabilidad comercial: cumplimos los compromisos asumidos con los clientes, empleados, proveedores, accionistas, con nuestra industria y con toda la sociedad. Actuamos seriamente y respetando el medioambiente.

-Trabajo en equipo: las mejores soluciones surgen del consenso y se enriquecen con el aporte de todos los que formamos parte de esta empresa.

Por todo lo expresado, los lineamientos declarados en la misión y los valores se traducen en la incorporación de políticas orientadas a mejorar la calidad de vida de los empleados, en adición a lo estipulado en los marcos regulatorios, **por el cuidado del medio ambiente, los consumidores** y por la comunidad.

La empresa está certificada bajo las normas ISO 9001 de la Calidad e ISO 22.000 de Inocuidad Alimentaria, con proyección de iniciar el proceso para adherir a la norma ISO 26.000 de RSE y la ISO 14.000 de Gestión Ambiental. Siguiendo la línea

7 PRODUNOA S.A. <http://produnoa.com/index.php>

de estas normas, adhieren a la definición de RSE de la norma ISO 26.000.

Además, la firma cuenta con un Reglamento Interno de Personal en el que se establecen las conductas aceptables para una adecuada convivencia y cuidado de sí mismo en particular.

### **Prácticas con los trabajadores**

Estas prácticas están referidas, entre otras cuestiones, al diseño organizativo del sector, calidad de vida digna, posibilidades de desarrollo, entrenamiento, igualdad de retribuciones y perspectivas para la mujer, salud y seguridad en el lugar de trabajo. En este sentido, el gerente general expresa que “[...] la RSE abarca a los empleados, darles un buen ambiente de trabajo, tranquilo, cómodo y que sientan que la empresa los respalda ante cualquier inconveniente que pudieran tener” (M. Pérez, comunicación personal, 10 de marzo de 2020).

El departamento Personal ejecutaba acciones netamente administrativas; sin embargo, en el año 2013 decide transformarlo en una estructura típica de recursos humanos. En la actualidad, el Área de Recursos Humanos gestiona las siguientes actividades: administrativas, selección de personal, capacitación, seguridad e higiene y legales y medicina laboral. Este fue un cambio estructural importante y fue acompañado con acciones de concientización.

El plantel está compuesto por veintiuna mujeres y cien hombres. En cargos de gerente o jefe hay seis mujeres: gerente administrativo, síndico, jefe de Laboratorio central, responsable de Sistema de Gestión, responsable de Control de Packaging y subjefa de Marketing.

Las remuneraciones están establecidas por convenio para los niveles menores a jefaturas. Las gerencias y jefaturas están fuera de convenio. El salario se mide con relación a la respon-

sabilidad y capacidad de gestión de la persona y no existen diferencias con relación al género.

La estructura de jerarquía vertical está en camino a transformarse en una estructura matricial. Por ello, consideran que, para modernizarse y ser más efectivos en las relaciones humanas dentro de la organización, el camino es mejorar la comunicación, lo cual a su vez va a conducir a mejorar el clima organizacional. Reconocen la importancia de una mirada integral del proceso por parte de los empleados, por lo que la comunicación entre todos, desde el gerente general hasta el operador de línea, se realiza utilizando la aplicación WhatsApp.

Además, todos los trabajadores están abocados en alcanzar un clima laboral saludable, esto es, lograr un ambiente libre de estrés producto del mal funcionamiento o la falta de colaboración en el entorno de trabajo. En la cultura organizacional se empezó a tratar al personal como clientes, no como empleados, poniendo a la persona en primer lugar. Se ha creado un espacio verde para que los trabajadores puedan ocuparlo en las pausas de trabajo, que tienen una duración de 35 minutos por cada turno de 8 horas. Todas estas acciones les ha permitido mejorar el clima laboral.

Cada fecha especial, como Día del Trabajador, de la Madre, del Padre, Domingo de Pascuas, Navidad y Año Nuevo, es día no laborable para que el trabajador pueda compartir con su familia. En el año 2015, por primera vez, se realizó en la empresa un festejo por el Día del Niño para que todos los trabajadores pudieran disfrutar con sus hijos. En este ámbito, el objetivo es establecer una política de contención, no solo en la empresa sino de integración de las familias a la empresa para que estas la conozcan.

Según los datos relevados, se advierte que la organización ha invertido en tecnología de última generación hasta lograr duplicar o triplicar el nivel de producción, acción que impacta en la eficiencia del proceso productivo.

Con respecto a los cuidados de las instalaciones dentro y fuera de planta, los sectores Intendencia y Maestranza se ocupan de que los empleados estén en un ambiente apropiado, poniendo énfasis en aplicar los procedimientos de limpieza y desinfección pertinentes a los distintos sectores. Lo cierto es que, al ser una empresa certificada en ISO 9001 e ISO 22.000, el ambiente de trabajo y la higiene y seguridad de los empleados es fundamental.

A partir del 2015, se incorporó personal especializado, específicamente un médico, quien realiza tres visitas semanales, y dos enfermeras disponibles diariamente en el horario de 06:00 a 22:00 h para atender urgencias y realizar controles periódicos de presión arterial, peso y otros. Los empleados tienen un control de su salud en forma permanente (por ejemplo, a la totalidad del personal se les colocan todas las vacunas pertinentes para evitar que contraigan enfermedades). Asimismo, antes del ingreso al plantel, los trabajadores se realizan un examen preocupacional médico, para tener conocimiento de las condiciones en que se incorporan a la empresa.

## **Prácticas comerciales**

En este aspecto interno de la RSE, las prácticas están relacionadas con el ofrecimiento a los consumidores de productos en condiciones óptimas de calidad y precio. Incluye variables tales como salud y seguridad del cliente, comunicaciones de marketing y privacidad de los datos del cliente, entre otras.

La marca principal de la empresa es Secco, que es la gaseosa de mayor venta de su cartera de productos. Una nueva línea es Secco Sin Azúcares, que compite directamente con gaseosas edulcoradas de las líneas Coca Cola o Pepsi; esta es una bebida baja en calorías – 0% azúcares- que adopta el sabor original de Secco. Además, la firma elabora agua mineral mar-

ca Bio Sports y soda en botella marca Secco. PRODUNOA S.A. ha encarado el camino cualitativo, es decir, establecer marcas que tengan impacto dentro de diversos nichos de mercado. A excepción de las gaseosas Secco, todos los demás productos se fueron incorporando para satisfacer las necesidades del mercado.

En marzo de 2021 se lanzó una campaña publicitaria bajo el slogan "Seccomparte", con el propósito de conectar con los consumidores una acción tan significativa como es "compartir", mediante la utilización de las distintas herramientas de la comunicación 2.0.

La empresa dispone de las áreas Comercial, Marketing y el área de Cuentas Corrientes, para brindar atención y responder a las consultas de sus clientes y distribuidores. A su vez, cuenta con personal capacitado en gestión de reclamos de clientes.

La página web corporativa es la carta de presentación de la empresa y un canal de comunicación con clientes ya consolidados y posibles nuevos clientes. Muestra su identidad (visión, misión, valores), la actividad a la que se dedica, los productos que ofrece, dónde está ubicada, forma de contacto, entre otros. Es una vía de comunicación a través del registro de sugerencias, reclamos y felicitaciones. El área de Marketing informa a la Gerencia General o a Gerencia Comercial las comunicaciones para dar respuestas en tiempo y forma.

La estrategia comunicativa de la empresa se basa en transmitir como valores fundamentales su trayectoria, su experiencia, su equipo humano, su capacidad logística y las certificaciones de calidad que tiene, entre otros. De este modo, busca adquirir la confianza del usuario mostrando su estructura y experiencia como garantía de resultados y, por lo tanto, de éxito.

En este propósito, la empresa adopta una política de protección a la privacidad y/o un sistema de gestión de las informaciones privadas del cliente. Atendiendo al principio de seguridad y confidencialidad, en el tratamiento de datos personales

se otorga seguridad a los registros, evitando su adulteración, pérdida, consulta, uso, acceso no autorizado o fraudulento.

Al ser consultado si los productos tienen riesgos para la salud del consumidor, el gerente comercial expresa que son elaborados y manejados bajo las estrictas normas de calidad y seguridad. En concreto, la empresa cuenta con la certificación de las normas ISO 9.001 e ISO 22.000, con lo que demuestra el compromiso público del negocio con la calidad de sus productos elaborados, que además genera confianza entre los distintos actores que forman parte de las labores de producción

El sector productivo, en colaboración con el sistema de gestión, implementa acciones tendientes a preservar la calidad e inocuidad en las distintas etapas de la elaboración de las bebidas que la firma comercializa. Actualmente, la entidad está centrada en la producción y en las buenas prácticas de manufactura, con el fin de proveer a sus clientes productos inocuos y de calidad.

## Prácticas medioambientales

Las acciones que lleva adelante la empresa están relacionadas con la gestión del impacto ambiental y de los recursos naturales, incluyendo aspectos tales como la disminución de consumo de recursos, la prevención de la contaminación y la protección del medio ambiente. El gerente general expresa: “[...] todo lo demás tratamos de que se reutilice o que no vaya a algún lugar, como el río o un basural” (M. Pérez, 2020).

Se implementa una política tendiente al uso de combustibles/energía menos contaminante con base en un estudio sobre la eficiencia energética. En este caso se cambió la instalación de alumbrado existente por una energéticamente más eficiente (sistemas de control, lámparas más eficientes, etc.)

Estas lámparas son reguladas antes y después de las horas de apertura y cierre cuando únicamente está presente el personal.

Además, se está evaluando la incorporación de paneles solares. Al respecto, agrega Pérez:

Nosotros consumimos mucha energía y la potencia de consumo es muy alta, por lo cual no vamos a independizarnos nunca de la red eléctrica, pero podemos poner paneles solares para cargar una batería y utilizarla para determinados sectores, y en función del resultado iríamos aumentando los paneles previo análisis de costo-oportunidad. (2020)

Para minimizar la liberación a la atmósfera de gases nocivos para la capa de ozono, las actividades de la empresa requieren de la utilización de una caldera con baja emisión de gases. Las botellas pasan por un sistema de llenado con gaseosa, donde es necesario realizar presión con gas carbónico para impulsar al rápido envasado de la botella; una vez que el líquido está saturado de dicho gas, se lo ventea. La empresa utiliza nitrógeno (gas inerte y de bajo costo) para evitar liberar el gas carbónico al ambiente.

Los controles del impacto ambiental generado por las actividades, por el momento, no tienen una inspección final, pero en la empresa se trabaja para minimizar, en lo posible, su impacto en el ambiente. Actualmente, se está trabajando en la adecuación a las normas ambientales, por el interés por la calidad ambiental local. Con referencia a esto, Pérez (2020) agregó: "Somos conscientes del daño ambiental y, en la medida en que podamos colaborar para mejorar el ambiente o para reducir las emisiones o reducir para que no se dañe más al ambiente, nosotros hacemos lo posible"

Para el tratamiento de residuos peligrosos (lubricantes, algunos químicos, baterías, tapas con aceite y cartones sucios, entre otros), se contrató en 2014 un asesor externo con amplia



experiencia adquirida en organismos provinciales y nacionales. Coordina las tareas de eliminación de los residuos tratados mediante la entrega de un certificado de deposición final de residuos peligrosos, con un detalle específico de los residuos que se lleva.

En efecto, la empresa realiza un seguimiento hasta que se destruyan los residuos conforme a las normas, a fin de no generar impacto negativo en el medio ambiente. A su vez, la recolección y clasificación en contenedores específicos de los materiales según sus características físicas (baterías, cartón, vidrios, etc.) es realizada por los empleados que fueron capacitados para facilitar la tarea de retiro y entrega del certificado. PRODUNOA S.A. tiene alianza con una empresa que se dedica al retiro y reciclaje de cartón y de madera proveniente de los pallets o tarimas.

### **La empresa y el entorno local**

En lo que respecta a la relación de la empresa con su entorno local, se advierte un fuerte interés en temas relacionados con su papel y su actuación en la comunidad en la cual opera. En este sentido, el compromiso voluntario en beneficio de la comunidad local adopta la forma de donaciones a centros de salud y merenderos, y la mutua colaboración entre las instituciones intervinientes y la empresa, en favor de causas sociales. Las acciones de apoyo se implementan en el marco de convenios con el Ministerio de Salud de la Provincia y la Dirección de Salud del Organismo Municipal local.

Además, son patrocinadores de distintas actividades deportivas, tales como maratones, clubes de fútbol local y nacional, club de hockey, entre otros.

Si bien la política de apoyo a la comunidad se reduce al acuerdo formal mediante convenios, la empresa estaría en-

caminada en avanzar por la senda del trabajo sostenido en el marco de alianzas con organizaciones locales para implementar proyectos sociales, campañas educativas y programas de formación. Así, están apuntando a protocolizar, organizar, generar un cálculo de la inversión realizada y un control de la cantidad de donaciones que se realizan para tener un registro de las acciones de carácter discrecional que la empresa realiza en la sociedad de la cual forma parte. A veces patrocinan eventos de convocatoria masiva y la marca Secco está presente en apoyo por su actitud solidaria y caritativa.

La empresa considera la participación comunitaria como un sentido de responsabilidad ética, por su parte, y como respuesta a las expectativas de la sociedad. Comprende que es grato reconocer a la comunidad, por la confianza y el respaldo que le dieron en cuanto al consumo de sus productos.

Otro instrumento de acción social son las pasantías de estudiantes universitarios, las que se realizan a través de convenios con universidades, para permitir la incorporación de alumnos de algunas carreras de ingeniería que realizan sus prácticas y/o tesis de grado. Los interesados presentan un proyecto y trabajan a la par de los profesionales de producción, en temáticas de investigación relacionadas con la inocuidad alimentaria, mediciones de calidad, seguridad industrial, etc. De esta manera, los estudiantes tienen una visión de la empresa en funcionamiento, de cómo se resuelven los problemas y, por su parte, brindan propuestas y contribuciones desde el conocimiento científico.

## Consideraciones finales

La RSE es un tema que ha surgido hace mucho tiempo, pero en los últimos años ha tenido mayor difusión y acogida en nuestro país y en nuestra provincia en particular.

Precisamente, los resultados de este estudio muestran que, para la pyme local objeto de estudio, la RSE se ha constituido en una respuesta a los retos que la sociedad más próxima a ella le demanda, principalmente en temas de sostenibilidad, entendida esta última en su triple vertiente económica, ambiental y social.

Concretamente, el conocimiento formal sobre RSE expresado por la empresa, las declaraciones de visión, misión y valores, y sus prácticas son las principales fortalezas para la construcción de un modelo de gestión basado en la RSE. Esta potencialidad permite desarrollar con mayor profundidad las prácticas que viene realizando la empresa en materia de colaboradores, cuidado del ambiente en todas las operaciones y respeto por el consumidor.

En efecto, el esfuerzo y la inversión en la relación con los consumidores a través de productos de calidad y buen servicio abona el terreno para la retención, la fidelización y el incremento en las ventas. Habría que decir también que la empresa diseña estrategias orientadas al bienestar laboral de los empleados, la satisfacción, el clima laboral y la motivación en el trabajo, que contribuyen a una menor rotación de personal y disminución del ausentismo.

Es importante destacar que el compromiso económico, social y ambiental de esta pyme deriva de los valores personales del accionista mayoritario, y no están vinculados a una estrategia previamente diseñada. Este convencimiento personal es la base para instalar institucionalmente el modelo de gestión basado en decisiones y prácticas de la responsabilidad social.

Es prioritario continuar consolidando la planificación en términos de relación con los diferentes actores sociales del contexto. Esto es, pasar de una estrategia de filantropía a definir los grupos sociales con los cuales interactuar, sus demandas y las acciones conjuntas a emprender son la base para definir una estrategia de inversión social. Ciertamente, se perfila

como una opción favorable la generación de alianzas con organismos públicos y del tercer sector para sumar esfuerzos en actividades sociales y cuidado del ambiente, especialmente en regiones con desigualdades sociales.

Por último, la comunicación es importante en este camino emprendido hacia un modelo de gestión basado en la RSE, en razón de que permitirá visibilizar el compromiso de la empresa con las prácticas hacia sus colaboradores, creando una imagen positiva que le permita fidelizar y aumentar clientes, y ser ejemplo para otras pymes de propiedad de capitales locales.

En razón de las percepciones de los directivos, las estrategias y prácticas descritas, PRODUNOA S.A. da cuenta del interés y el accionar en la promoción de un cambio en la dinámica empresarial, tendiente a sostener y profundizar un modelo de gestión socialmente responsable.

## Bibliografía

- Cancino, Christian y Morales, Mario (2008). "Responsabilidad Social Empresarial". Serie Documentos Docentes N°1. Publicación de la Facultad de Economía y Negocios de la Universidad de Chile. pp.13-14
- Carroll, A. (1991) "The Pyramid of Corporate Social Responsibility: Toward the Moral Management of Organizational Stakeholders". *Business Horizons*. 34(4), 39-48.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic management: A stakeholder approach*. Boston: Pitman.
- Instituto Argentino de Normalización y Certificación IRAM (2011): "Norma ISO 26000: Guía sobre Responsabilidad Social". <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:26000:ed-1:v1:es>
- Porter, Michael y Kramer, Mark (2006): "Estrategia y Sociedad. El vínculo entre ventaja competitiva y responsabilidad social corporativa". *Harvard Business Review*. 84(12), pp. 42-56.
- Stake, R.E. (1998). *Investigación con estudio de casos* (2da edición). Madrid: Editorial Morata S.L.
- Truñó, Jordi y Rialp Criado, Josep (2008): "La responsabilidad social corporativa. Gestión empresarial de un activo intangible". *Revista de Contabilidad y Dirección*. (7)(1), pp.163-184. [https://accid.org/wp-content/uploads/2018/10/rcd7\\_cas-tella\\_163-1.pdf](https://accid.org/wp-content/uploads/2018/10/rcd7_cas-tella_163-1.pdf)
- Vallaey, François (2007). "La responsabilidad social de la Universidad". *Palestra portal de asuntos públicos de la PUCP*. Pp. 1-8. <http://aiesmin.unsl.edu.ar/responsabilidad.pdf>

# HACIA UNA COMPRENSIÓN DE LA RELACIÓN ENTRE LAS DESIGUALDADES Y LA PRODUCCIÓN DE LAS DIFERENCIAS EN SANTIAGO DEL ESTERO. PRINCIPIOS DE CLASIFICACIÓN, REPRODUCCIÓN DE LAS DESIGUALDADES Y FORMAS DE RESISTENCIA EN CAPITALISMOS PERIFÉRICOS

ANA TERESA MARTÍNEZ<sup>1</sup>; JOSÉ VICENTE VEZZOSI<sup>2</sup>;  
RAÚL ESTEBAN ITHURALDE<sup>3</sup>; PABLO CONCHA MERLO<sup>4</sup>;  
BELÉN VILLAVICENCIO<sup>5</sup>

1 Licenciada en Filosofía (UNT), Doctora en Ciencias Sociales (UBA). Directora del Grupo "Cultura, Sociedad y Poder" perteneciente al Instituto de Estudios para el Desarrollo Social (INDES). Directora del INDES. Investigadora Independiente del CONICET. Docente de la FHCSyS de la UNSE.

2 Licenciado en Ciencias Políticas (UCSE), Doctor en Ciencia Política (UNC). Coordinador del Grupo "Cultura, Sociedad y Poder" (INDES). Investigador Asistente del CONICET. Docente de la FHCSyS de la UNSE.

3 Licenciado y Doctor en Química (UBA). Integrante del Grupo "Cultura, Sociedad y Poder" y coordinador del "Equipo de Educación, ambiente, hábitats y territorios" del INDES. Investigador Asistente del CONICET. Docente de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias de la UNSE.

4 Licenciado en Filosofía (UNT), Doctor en Antropología (UBA). Miembro del Grupo "Cultura, Sociedad y Poder" del INDES. Becario Posdoctoral del CONICET. Docente de la Facultad de Psicología de la UNT.

5 Licenciada en Comunicación Social (UCSE). Doctoranda del Doctorado en Estudios Sociales (UNC). Miembra del Grupo "Sociedad, Cultura y Poder" del INDES.

## Resumen

El artículo aborda los principales avances del Proyecto de Investigación UNSE "Los modos de la desigualdad y la diferencia. Principios de clasificación, reproducción de las desigualdades y formas de resistencia en capitalismo periféricos. Santiago del Estero 1940-2016" desarrollado por el grupo de investigación "Cultura, Sociedad y Poder" del INDES (UNSE-CONICET). Aborda el vínculo entre desigualdades sociales y económicas con la producción simbólica de las diferencias en Santiago del Estero. Al respecto, plantea cuáles fueron los principales objetivos de la investigación, la metodología empleada, los antecedentes en los que se fundamentó y despliega los principales resultados alcanzados. El artículo permite ver cómo la construcción del objeto de investigación da cuenta de los modos en que se articularon *desigualdad* y *diferencia* a partir de la producción de alteridades y otredades sociales, políticas, religiosas y culturales, en diferentes coyunturas de la historia santiagueña.

Palabras clave: Desigualdad; Diferencia; Santiago del Estero

## Abstract

The article addresses the main advances of the UNSE Research Project "The modes of inequality and difference. Principles of classification, reproduction of inequalities and forms of resistance in peripheral capitalisms. Santiago del Estero 1940-2016" developed by the research group "Culture, Society and Power" of INDES (UNSE-CONICET). It addresses the link between social and economic inequalities with the symbolic production of differences in Santiago del Estero. In this regard, it raises what were the main objectives of the research, the methodology used, the background on which it was supported and displays

the main results achieved. The article allows us to see how the construction of the research object accounts for the ways in which inequality and difference were articulated from the production of social, political, religious, cultural otherness and otherness, at different junctures of Santiago's history.

Keywords: inequalities; differences; Santiago del Estero

## Introducción

Con el agotamiento del ciclo del obraje (Tasso, 2007) a mediados del siglo XX, pareció sucumbir el último gran proyecto de desarrollo del capitalismo periférico santiagueño. Desde entonces, se profundizó la dependencia provincial de los recursos del Estado nacional y las desigualdades sociales y económicas existentes en la provincia parecieron reconfigurarse en torno a un complejo juego. Al respecto, la pregunta por la configuración de las diferencias a partir de la segunda mitad del siglo XX en Santiago del Estero emerge como una opción necesaria para comprender los matices de la producción de las desigualdades sociales, haciendo foco en la producción de hegemonías, es decir, de narrativas dominantes en torno a cuestiones étnicas, religiosas, lingüísticas, culturales o de identificaciones políticas.

En este artículo daremos cuenta de los principales avances del Proyecto "Los modos de la desigualdad y la diferencia. Principios de clasificación, reproducción de las desigualdades y formas de resistencia en capitalismo periféricos. Santiago del Estero 1940-2016" en el marco de la trayectoria de producción de conocimiento del grupo "Sociedad, cultura y poder" del INDES. Mostraremos los modos en que históricamente la producción (simbólica y discursiva) de diferencias culturales



se articuló con las desigualdades sociales y económicas en Santiago del Estero.

Para ello, en un primer apartado, planteamos algunas dimensiones de nuestro problema de investigación y sus principales dimensiones teóricas y metodológicas. Recuperaremos avances de las ciencias sociales argentinas sobre la problemática planteada, para luego dar cuenta de algunos de los procedimientos analíticos desplegados y mostrar, finalmente, algunos de nuestros principales avances.

## Desarrollo

El proyecto "Los modos de la desigualdad y la diferencia. Principios de clasificación, reproducción de las desigualdades y formas de resistencia en capitalismo periféricos. Santiago del Estero 1940-2016" propuso –a partir de perspectivas múltiples en términos disciplinares y de puntos empíricos de entrada- el análisis de la historia social de Santiago desde la mirada de la sociología de la cultura, enfocado en la producción de formas culturales hegemónicas, abarcando el período que transcurre entre las primeras décadas del siglo XX hasta la actualidad.

A partir del cuestionamiento del lugar del intelectual en la construcción de las narrativas dominantes, y las relaciones de poder en las cuales dichos relatos se inscriben, buscamos retomar aspectos frecuentemente marginados por la historia consagrada: aquellos fragmentos dispersos y poco sistemáticos de alteridades no autorizadas por el discurso hegemónico. En este sentido, la apuesta grupal consistió en complejizar las desigualdades de "clase" propias del sistema capitalista anudándolas a tramas discursivas provinciales en las cuales se evidenciaba una prolífica producción simbólica de diferencias étnicas, religiosas, lingüísticas, de consumos culturales y de identificaciones políticas. Con esto se logró una articulación

entre desigualdades y diferenciaciones, lo que constituye un punto de llegada y a la vez un nuevo punto de partida que demanda la puesta en discusión de diversos aportes conceptuales entre los que podemos destacar la perspectiva *bourdiana*, los estudios poscoloniales y el marxismo culturalista británico de herencia *gramsciana*.

Analizamos los procesos de diferenciación como dialéctica entre la constante redefinición de la perspectiva de los actores en términos de división nosotros/otros y la experiencia histórica, que supone tanto la vivencia no necesariamente consciente de ocupar una posición y mantener una trayectoria en el espacio social, así como la comprensión igualmente práctica de las coyunturas. El proyecto asumió la relación estructura-agente para intentar dar cuenta de sus determinaciones relativas y múltiples, considerando no solo las dimensiones estructurantes del mundo social, sino también su relación de mutua *constitutividad*.

En función de este enfoque, definimos como objetivo general de conocimiento el rastreo de los modos en que históricamente la producción simbólica y discursiva de las diferencias culturales se articularon y condicionaron la reproducción de las desigualdades económicas y sociales en Santiago del Estero (sea con efectos de invisibilización, de reforzamiento o de apertura de oportunidades para generar estrategias de reversión y subversión). Este marco de referencia se desplegó en seis objetivos específicos, que orientaron estas indagaciones: a) las formas históricas en que los más reconocidos escritores santiagueños del siglo XX (Di Lullo y Canal Feijóo) produjeron discursos clasificadores, así como los modos en que formas discursivas menos consagradas (Amalio Olmos Castro, Carlos Abregú Virreira, Andrónico Gil Rojas, Carlos Bernabé Gómez y Francisco René Santucho) describieron y representaron a determinadas poblaciones; b) el correlato entre desigualdades económicas y sociales y las representaciones de la diferencia-

ción social que aparecían en discursos y prácticas estatales, específicamente aquellas referidas con las políticas públicas en materia de pobreza, desigualdad, cultura y educación; c) el discurso mediático local, las representaciones de la diferenciación social, las alteridades culturales (lingüísticas, étnicas y religiosas), para analizar su vinculación con las desigualdades económicas y sociales; d) la producción simbólica en torno a la etnicidad, el género, las prácticas políticas y religiosas, la pobreza, la desigualdad y el éxodo, generada en espacios subalternos y mayormente rurales: indígenas, campesinos, hablantes *minorizados*, practicantes de religiosidades populares, en poblaciones rurales o urbanas; e) los dispositivos de diferenciación desplegados en escenificaciones públicas masivas, como las fiestas conmemorativas de la fundación de la ciudad de Santiago del Estero, tanto en los espacios organizados por las autoridades del Estado como en los más abiertos a las iniciativas particulares de los diversos grupos sociales; f) la producción del "interior" como diferenciación "marco" centro-periferia a través de las disputas sobre las políticas públicas, los discursos políticos y de organizaciones sociales y culturales.

La construcción de este problema de investigación y su despliegue metodológico tuvo como base un conjunto de discusiones teóricas, metodológicas y empíricas que exponemos en el próximo apartado.

### **Desarrollos socioantropológicos, poscoloniales y de la subalternidad**

Las indagaciones sobre los principios de clasificación de lo social se remontan a los orígenes disciplinares de la sociología y la antropología. En las últimas décadas se pueden señalar dos núcleos de productividad teórica sobre este tema: los desarrollos de la socioantropología francesa por un lado y los estudios

poscoloniales, de género, de subalternidades y descolonizadores por otro. En el primer caso, la recuperación de algunas dimensiones antes descuidadas de la obra de Durkheim-Mauss (1902) y Mauss (1924 y 1936) dio lugar, en la segunda posguerra, tanto a la antropología estructuralista (Levi-Strauss, 1950 y 1958) como a las corrientes que la discutieron para desprenderse de sus dimensiones más ahistóricas y abstractas (Foucault, 1966; Bourdieu, 1972; Boltansky, 1979). Con estos aportes, la sociología sumó a su patrimonio de esquemas analíticos una perspectiva relacional y una mirada más aguda sobre las luchas clasificatorias de lo social (Bourdieu, 1979).

Las disputas por la clasificación acontecen en el trasfondo de un espacio social conformado en procesos históricos de diferenciación que recortan a los agentes en estratos jerárquicos. Para Bourdieu (2019 entre otros), las diferenciaciones son producto de la concentración de capitales de distinta índole y la legitimación de estos capitales como simbólicamente “valiosos”, fundamentalmente entre quienes están desposeídos de ellos. Sobre esta lógica de diferenciación se producen percepciones y autopercepciones corporales que se expresan en sentimientos profundos de pertenencia a tal o cual sector –de arriba o de abajo– y se interiorizan como *habitus*, lo que conlleva a la reproducción de las posiciones sociales, a estrategias prerreflexivas de autosegregación y segregación del otro, en tanto que salirse del repertorio histórico familiar expone sobre todo a los dominados a situaciones de violencia simbólica.

Sin embargo, también es cierto que operan de distinto modo en determinadas coyunturas históricas, como sumisión y aceptación naturalizada de las jerarquías, pero también como resistencias que se expresan, por ejemplo, en escamoteos cotidianos o luchas más o menos abiertas en las que se producen procesos de diferenciación identitaria. Estas estrategias de posicionamiento, entonces, pueden coadyuvar procesos de subversión o conservación de un determinado orden o dimensión

del orden social. Un aspecto crucial en la lucha por conservar o subvertir el orden es imponer definiciones de las situaciones y los agentes implicados, a través de la producción de categorías autorizadas o autorizables, expresadas en distintos tipos de discursos públicos.

Esta lucha por las clasificaciones inaugura un terreno des-nivelado y desigual y por ello político, porque la capitalización diferencial entre tipos de sujetos influye fuertemente en la producción y circulación de percepciones y discursos sobre lo que acontece en el mundo social. Más aún, la concentración de capitales permite a la vez el acceso a –y la producción de– lugares estratégicos de legitimación de representaciones y discursos, incluso del establecimiento de normativas disciplinantes o la utilización de la violencia legitimada.

Lo que entendemos como “Estado” es justamente la producción de un monopolio de la violencia física y simbólica legítima y una posterior lucha por el *monopolio del monopolio* entre grupos de poder desigual con intereses divergentes, cuya finalidad es la imposición de sentido común en términos de disciplina corporal que predispone para reconocer las formas en las que se ejerce el mando, pero que también, inevitablemente, produce formas heterodoxas y heterogéneas que escapan a la ficción de plenitud que busca construir el control estatal. En otras palabras, la imposición de clasificaciones se lleva a cabo desde los espacios del poder estatal, pero que al mismo tiempo produce iniciativas diseminadas en todos los rincones del espacio social, allí donde “significar” es siempre “distinguir”, discriminar y donde la economía, la política, la cultura y la organización del territorio son dimensiones inescindibles de los fenómenos.

La sociología del conocimiento pudo revelar las aristas sutiles de la dominación que se deslizan en los pliegues del conocimiento legitimado y practicado tanto por el Estado –en cualquiera de sus posibles versiones– como por los grupos so-

ciales privilegiados que producen y reproducen la desigualdad mediante la mera continuidad y afirmación de su diferencia, no solo por la acumulación económica y el poder político, sino también por los miles de modos sutiles de violencia simbólica cotidiana. Estos estudios de la sociología francesa de fines del siglo XX -a los que podríamos sumar los de la geografía crítica brasileña-, que se centraron en la producción de la legitimidad y sus efectos, generaron también algunos instrumentos para recuperar procesos productivos de divergencia, de disputa y subversión a la lógica de la dominación, en los lugares más subordinados del espacio social (De Certeau, 1990; Santos 2000).

Entre los muchos efectos, el principal de las luchas por la clasificación es el de marcar identificaciones y diferenciaciones clasificando la mismidad y la otredad en diversas dimensiones; clase, raza, etnia, grupo de edad y género son las cuadrillas clasificatorias de la modernidad capitalista y la norma estatal. Estos marcajes identificatorios pueden pensarse como "indicios" para comprender el estado de las luchas a través de los distintos modos de expresión que las evocan: discursos, políticas hegemónicas o de resistencia, *performance* disciplinantes, organización del espacio sociogeográfico, etc.

En esta línea, la percepción de esta cuestión es lo que originó las corrientes de estudios "subalternos", recuperando el sentido que Gramsci daba al término: los grupos excluidos por su raza, etnia, clase social, género, orientación sexual o religión, que revelan nuevos grupos sociales y líneas de fractura, estratificaciones polimorfas, no reducibles a un solo principio, de clase o etnia. En estos análisis se advierte cómo una multiplicidad de historias no contadas y de sujetos nunca percibidos por su ilegitimidad y la ilegitimidad de sus modos (fundamentalmente no organizados en función del trabajo obrero e industrial), así como por los intereses que confrontaban (la persistencia de formas culturales denominadas "tradicionales", folklóricas, paganas), pueden ser restituidos desde enfoques

epistémicos capaces de quebrar las seguridades de relatos apropiados como de sentido común hegemónico a partir de una multiplicidad de experiencias, como la escolar modernizante, las afirmaciones de los grupos dominantes en sus múltiples foros y los discursos oficiales y oficiosos emitidos desde el estado.

Si desde Gramsci, Foucault, Bourdieu o Raymond Williams es imposible eludir la *politicidad* de toda producción cultural, cuando hablamos de contextos que no forman parte de los centros de producción capitalista, esta *politicidad* adquiere un carácter geoepistemológico (Canaparo, 2009). Desde esta perspectiva, el análisis de los contextos poscoloniales es necesariamente un desafío a afrontar. El proceso por el cual la modernidad europea capitalista se desarrolló en ese movimiento globalizador que constituyó la apropiación colonial de continentes transoceánicos a partir del siglo XVI con una nueva ola expansiva en el siglo XIX, no puede seguir siendo un dato marginal para los análisis de unas y otras sociedades, de su política, de su economía y de sus desarrollos culturales.

La confluencia de las perspectivas subalternas en relación con una vuelta de tuerca geo epistemológica forjó las perspectivas poscoloniales. La poscolonialidad, como afirma Bhabha (1994, p.21), no refiere a algo posterior, que sigue a la condición colonial, sino a la percepción de un espacio liminar que desencializa la cultura y nos pone frente a una historia que no es ya una secuencia serial y causal, sino que se constituye como un espacio de discontinuidades. El análisis de los efectos de conocimiento de los procesos de colonización sobre colonizadores y colonizados abre nuevos asuntos sobre las identidades nacionales y culturales, así como sobre las subjetividades, poniendo en cuestión la universalidad de la que se había revestido la cultura europea y la ignorancia activa y pasiva de otras maneras de percibir, organizar y clasificar el espacio y el tiempo, las relaciones entre los seres humanos y entre estos

y su entorno, descalificadas *ipso facto* como inferiores o irracionales (es decir, menos humanas, según su definición clásica de humanidad).

La deconstrucción de la mirada colonizadora apropiada por el colonizado en la forma de autodesprecio y vergüenza del propio cuerpo, llevó rápidamente al análisis del racismo (Martínez, 2007; Go, 2013). A partir de la cuestión argelina, Fanon (1963) había desarrollado sus ideas sobre la internalización del enemigo (1950-1960) y González Casanova (2006) postuló en 1969 desde México la noción de «colonialismo interno».

Quijano (2000), siguiendo pistas abiertas por la teoría de la dependencia y la idea de “sistema mundo” (Wallerstein, 2005), ayudó a vincular la simultaneidad de la producción de América como fenómeno, con el desarrollo de la modernidad capitalista, configurándose un nuevo patrón de poder mundial, cuyo eje sería la clasificación de la población bajo la idea de raza. Fue evidente entonces la posibilidad de relacionar los principios con que se jerarquizaba la población en las colonias americanas con la organización de la dominación y la explotación económica. Mirado desde aquí, el racismo deja de ser un caso excepcional de cierto tipo de relaciones desafortunadas, localizables en algunos momentos y lugares de una historia lineal de emancipación contada desde un centro, para convertirse en una clave interpretativa, un caso particular, es verdad, pero de una modalidad de producción de diferencias para generar y sostener desigualdades, que ha penetrado profundamente nuestra vinculación con el mundo desde el juego de diferencias que produjo la colonización, cuyos efectos de verdad impregnan las relaciones sociales de larga duración. Estas miradas sobre la subalternidad indudablemente mantienen una fuerte relación con el desarrollo del capital y la consolidación de los estados-nación en las colonias. En este sentido, el debate con Anderson (1993) permite construir algunas herramientas conceptuales útiles para analizar los modos en que el ejercicio de



clasificación estatal es crucial para gobernar las poblaciones que el capitalismo margina económicamente y oportunamente se homogenizan o *alterizan* en términos identitarios.

Inscriptos en estas tradiciones, nuestro proyecto buscó investigar los modos múltiples en que estas relaciones de *alterización* se articularon con las de desigualdad, con la consecuente incidencia en la configuración de la sociedad de Santiago del Estero, tanto desde las perspectivas hegemónicas como en la producción de sus simultáneas disrupciones, y esto como caso particular de un espacio subordinado en un contexto geopolíticamente periférico.

### **Antecedentes de nuestro problema**

En las últimas décadas fueron muchos los aportes de las ciencias sociales argentinas a nuestro interrogante. El carácter interdisciplinar que fueron adquiriendo las indagaciones hicieron evidentes las conexiones entre la clasificación socioeconómica y los aspectos culturales de los procesos, dejando al descubierto la incidencia de la diferenciación social en la reproducción de la desigualdad. Las indagaciones sobre la historia social argentina acerca de la historia de las clases populares y la constitución de la clase media, permitieron entender mejor el rol que jugaba la "moralidad" de clase y la segregación del otro racialmente marcado en la constitución de representaciones y en la reproducción social de la diferencia (Visacovsky y Garguin, 2009; Adamovsky, 2009 y 2012). Este aspecto quedó particularmente explícito en ciertas coyunturas críticas de la historia argentina, cuando desde el Estado se dio lugar a la puesta en "crisis de la deferencia" (Thompson, 1995), como por ejemplo la que marcó la emergencia del peronismo (Torre, 1990; Barros, 2011).

Otros historiadores estudiaron la producción de las cate-

gorías más generales que produjeron la nacionalidad argentina. Uno de los modos de producción de la identidad nacional fue a través de los textos escolares. Desde distintos puntos de vista, la compilación de Romero (2004) muestra que la argentinidad, entendida como una identidad homogénea existente desde siempre, es transmitida en las escuelas (efemérides, manuales, canciones, rituales, mapas, entre otros) asociándola a una historia hecha de héroes y batallas y a una geografía física que se imponen en el sentido común para producir argentinos desde el "crisol de razas", que da como resultado una población finalmente europea. Cucuzza (2007), por su parte, señala que los manuales influyeron considerablemente en la conformación de la identidad nacional. Estos se constituyeron como dispositivos de construcción de la nación como comunidad imaginada (Anderson, 1993), es decir, como dispositivos que la construyen, constituyen e instituyen. Desde un enfoque socioantropológico, se ha analizado la especificidad de los dispositivos y modos de *gubernamentalidad* derivados de los sistemas estadísticos del Estado y otros dispositivos de organización, que implican sistemas de clasificación relacionados con discursos identitarios y de diferenciación (Pantaleón, 2009; Frederic y Soprano, 2005).

Por otra parte, otros investigadores han explorado los procesos de redefiniciones étnicas que se produjeron en todo el país a partir de la reforma de la Constitución Nacional de 1994 y la suscripción del convenio 169 de la OIT, abriendo un debate sobre los procesos de identificación y las identidades indígenas, que no solo recorrió los ámbitos académicos, sino que se volvió discusión al interior de poblaciones rurales y suburbanas. En muchos casos, estas poblaciones habían censurado sus orígenes vinculados al mundo indígena en el dominio público, sin que desaparecieran relatos comunitarios o intrafamiliares susceptibles de referenciarlos en tales linajes. Dicha discursividad *subalterizada* seleccionaba y vinculaba algunos

diacríticos tales como rasgos fenotípicos, prácticas culturales y lugar de residencia -propios o de sus antepasados- a identidades étnicas consideradas extintas por los discursos identitarios hegemónicos provinciales y nacionales (Escolar, 2007; Briones, 2005) o simplemente a la figura del "indio" (Pizarro, 2006).

Ante una nueva condición de posibilidad para generar acciones y reclamos exitosos desde su condición étnica, mediante prácticas discursivas que los posicionan por su diferencia respecto a la sociedad nacional, adscriben como indígenas mediante un trabajo de *reenclasmiento* o de *enclasmiento* (Bourdieu, 1990 y 2000; Bartolomé, 2003; Pankonin, 2016) capaz de subvertir los discursos hegemónicos en el plano nacional y provincial.

No se trata de la recuperación de un pasado mítico ni de la construcción de una identidad para el ámbito público con fines únicamente utilitaristas, sino unos complejos procesos políticos, sociales, culturales y espaciales cargados de una pesada historia de represión hacia todo lo que no es el llamado sujeto histórico mundial -varón, blanco, burgués, cristiano, europeo- (Pratt, 1997) y de avances y retrocesos de los grupos subalternos que resisten a esta dominación/colonización, que articulan sus propias estrategias de disputa en los diversos campos del espacio social y, ante todo, procesos que no son únicos sino diversos y profundamente territorializados, lo que lleva a indagar los modos en que las nociones de territorio y de espacio social se articulan (Porto Gonçalves, 2001).

Finalmente, en diversas áreas de estudio que en los últimos años han desarrollado equipos de investigación no anclados en Buenos Aires, el tema de las clasificaciones sociales vinculadas a la diferenciación, las producciones identitarias y los *enclasmientos* sociales adquiere una relevancia particular. Nos interesa destacar particularmente la producción de un grupo de investigadoras de la Universidad Nacional de Salta (con quienes venimos teniendo importantes intercambios), quienes

vienen estudiando desde hace más de diez años estos procesos en aquella provincia, mostrando –en distintas coyunturas– los modos en que los grupos de élite local encontraron en la producción simbólica el refugio para reclamar los privilegios amenazados (Villagrán, 2010 y 2014; Moyano, 2001, 2003, 2004 y 2007). El libro *Poder y salteñidad. Saberes, políticas y representaciones sociales* (Álvarez Leguizamón, 2010) analiza los usos múltiples de discursos sobre la *salteñidad* con que una clase dominante salteña conservadora y tradicionalista sirve a sus intereses económicos, políticos y sociales construyendo la figura de Güemes como héroe provincial, desde la producción historiográfica de Frías en el siglo XIX, en la que construía la figura del héroe salteño, al tiempo que se producían alteridades mediante el *higienismo* y las políticas de salud. Lejos de ser prácticas del pasado, el texto nos muestra su vigencia en la Salta neoliberal durante el gobierno de Romero expresada en una *gubernamentalidad* que se apoya en las políticas focales dirigidas no a suprimir sino a gobernar la pobreza valiéndose también de estrategias de nominación, entre las cuales sobresale la oferta de *salteñidad* para el turismo, con momentos culminantes como las fiestas de Güemes en tanto héroe salteño de la independencia que vincula a Salta con la producción de la identidad salteña y argentina.

### Nuestras aproximaciones previas

Nuestro grupo de investigación tuvo una primera aproximación a esta problemática mediante el proyecto PIP "Religión, política y discursos identitarios en la construcción de hegemonía en Santiago del Estero. 1930-1999"<sup>6</sup>, en el que analizamos los usos

6 Un primer antecedente fue la participación en el PICT-redes

que agentes religiosos y políticos han hecho de los discursos sobre la identidad santiagueña desde 1930 hasta fines del siglo XX. Indagamos las trayectorias de los agentes identificando trasposos de capital y disposiciones entre espacios políticos y religiosos, y estudiamos las modalidades de negociación de conflictos en el campo político, donde el tema de la identidad santiagueña aparecía reiteradamente. Nuestras hipótesis sostenía que en un espacio religioso hegemonizado por el catolicismo, con el ambivalente discurso de sus agentes acerca de la política, y una parte de los políticos locales procedentes de la militancia católica, a partir de los años 1930 estos habían ganado terreno frente a liberales y socialistas (Martínez y Vezzosi, 2013; Vezzosi, 2014), constituyendo los discursos sobre la catolicidad de la identidad santiagueña un lugar de disputas y mediación para la consolidación de posiciones. Nos interesaba analizar que, aunque agentes y prácticas religiosas, culturales y políticas pudieran ser nominalmente diferenciadas e incluso concebidas como divorciadas e incompatibles por los agentes, en la práctica ambos campos se constituían en la negociación de la dominación simbólica (Martínez, 2011; Vezzosi, 2013).

Comprendimos que los discursos sobre la identidad santiagueña constituían una clave de interpretación de negociaciones y disputas y pudimos identificar algunos conflictos en los que el tema emerge con insistencia: a) la discusión por la reforma de la constitución provincial en 1939 (Williams, 2016); b) la discusión que tuvo lugar entre 1951 y 1953 en torno a la fundación de la ciudad de Santiago del Estero, cuando se cumplían sus 400 años, donde la decisión sobre la fecha, el fundador y la corriente conquistadora tuvo connotaciones identitarias que nuevamente dividían aguas entre liberales y católicos (Gómez, 2013a; Gómez y Vezzosi, 2018); c) el discurso sobre la

*indianidad* de F. R. Santucho en el grupo y la revista *Dimensión* de la década de 1950 (Gómez, 2013b, 2016a, 2016b; Trucco Dalmas, 2013); d) el período que se extiende desde 1955 hasta los años 80 aproximadamente, caracterizado por la presencia hegemónica del Partido Demócrata Cristiano (Gómez, 2016c) (Álvarez Valdés, 2004; Mayer Correa, 2004; Achával, 1993; Picco, 2016) mediante la construcción de alianzas con el peronismo juarista; e) en la década de 1990, en la compleja y conflictiva relación del obispo Gerardo Sueldo con Juárez en el gobierno (Martínez, 2014a; Vezzosi, 2013).

El análisis de estos procesos, trayectorias y tomas de posición mostró que los discursos de identidad eran un lugar de disputas a la vez religiosas y políticas, donde la diferenciación de tipos de agentes y la producción de campos específicos de lo religioso y lo político no se traducían en diferenciación de esferas de valor, sino que constituían espacios de disputas específicas pero fácilmente trasladables de una arena a otra, en un espacio social marcado por un catolicismo integral, ya sea de izquierda o de derecha.

A partir de estos avances propusimos el proyecto “Usos políticos y sociales de los discursos de identidad” (PICT-O 2012 0012)<sup>7</sup> en el que abordamos la cuestión de “la identidad” como un elemento importante del repertorio tópico ordinario. Es decir, como un esquema discursivo que, formando parte de la *doxa*, se da por supuesto, pero que en ciertas circunstancias en que el sentido común está en peligro, se hace explícito e incluso se convierte en objeto de disputa. Fuimos integrando una perspectiva antropológica, desde la cual se tornó más evidente que se trataba de una construcción múltiple y compleja donde

7 Con el cual iniciamos una relación de intercambio que mostró ser altamente fructífera con el ya mencionado grupo de investigadoras que en la Universidad Nacional de Salta venía trabajando temas similares.

los efectos de poder y las luchas clasificatorias se entrelazaban. En la historia del siglo XX la cuestión de la *santiagoueñidad* aparecía reiteradamente y de manera multiforme en los discursos legítimos, por eso fue necesario explorar las reflexiones de Canal Feijoo y di Lullo -intelectuales consagrados) en las décadas de 1920 y 1930-, así como su recuperación por los intelectuales en la década de 1990 (Martínez, 2010); la *folklorización* de la ruralidad que se inicia por el mismo periodo y tiene actualmente expresiones muy particulares en las fiestas del aniversario de fundación de la ciudad de Santiago del Estero (Rivero, 2014 y 2015; Salomón, 2015); la construcción de la hispánica y católica "Madre de ciudades" consagrada por la historiografía y que en los discursos oficiales se mezclaba con la simbología de la "civilización chacosantiagoueña" creada por la arqueología de los hermanos Wagner, (Martínez *et al.*, 2008); el proyecto *indoamericanista* de Santucho, planteado entre los años 50 y 60, en términos de proyecto cultural (grupo *Dimensión*) y político (FRIP8).

Hemos podido percibir que los discursos legítimos se han resistido reiteradamente a incluir heteronomías que en su momento se presentaban como superando el ámbito de lo decible. El discurso sobre la *santiagoueñidad* ha tenido dificultades para asumir la integración de sirios y libaneses (Tasso, 1988), la ascendencia indígena de la población campesina (Martínez *et al.*, 2011[2003]), las creencias no católicas presentes en la religiosidad y en muchas prácticas culturales extendidas, como las de magia y hechicería (Vessuri, 2012 [1971]; Farberman, 2005; Miguel, 2007).

Promediando el siglo XX, mientras los actores sirios y libaneses alcanzaban posiciones económicas y políticas de relevancia, los discursos legítimos comienzan a acusarlos de los

males de la provincia (Canal Feijoo, 2010 [1948]). En 1955, mientras en el campo intelectual argentino se debatía sobre el sentido del peronismo que había que suprimir (Altamirano, 2001y2011; Terán, 1991 y 2008; Sigal, 1991), en Santiago del Estero aparecía fugazmente la revista *Dimensión*, con un discurso *indoamericanista* que dio lugar al origen de una propuesta regional de la nueva izquierda argentina (Gómez, 2011; Carnovale, 2009 de Santis, 2010; Santucho, 2005, entre otros). En los años 60 y 70, el discurso desarrollista expandido por los gobiernos de facto encontraba en la provincia el apoyo político y cultural de un partido confesional explícitamente ligado al catolicismo, la democracia cristiana, que disputaba el imaginario no sólo de la *santiagueñidad* sino del “ser argentino” mediante la concepción basada en la matriz del catolicismo integral (Ghio, 2007; Mallimaci, 1988; Di Stefano y Zanatta, 2000; Ghirardi, 1983). Ya en los años 90, contexto de reformas neoliberales, la disputa entre una iglesia católica vinculada a la teología de la liberación y el peronismo juarista, ponía en el centro del debate el carácter “feudal” y “tradicional” de una supuesta cultura santiagueña (Martínez, 2014a), al tiempo que los intelectuales –varios de ellos vinculados al catolicismo liberacionista- recuperaban los textos de Canal Feijoo y de Di Lullo para buscar allí las claves de los problemas provinciales y una salida al futuro (Martínez, 2013b).

Al mismo tiempo, desde los '80, venían emergiendo movimientos sociales en el “interior” santiagueño a partir de la intensificación del conflicto de tierras por la expansión de la frontera agropecuaria, que evidenciaban la existencia de un Santiago del Estero habitualmente *alterizado* desde los discursos centrados en la capital (Michi, 2010; MoCaSE-VC, 2016).

También a finales del siglo XX, las fuertes transformaciones del estado, la economía y la sociedad provincial quedaban evidenciadas en acontecimientos singulares como la reforma de la Constitución Provincial de 1997, en cuyos debates se volvían



a entrecruzar cultura, religión y política durante los enfrentamientos por la educación religiosa o laica (Barrionuevo y Ruiz, 2015). Los discursos modernizadores iban a la par de los discursos más tradicionales que defendían el lugar de la religión en la raíz cultural e identitaria de los santiagueños, como discursos sobre una *santiagoñidad* "auténtica". En este contexto, el discurso neoliberal va a manifestar su fuerza simbólica, es decir, la capacidad de instalar principios de visión, división y jerarquización del mundo social permitiendo la reorganización del poder político y empresarial local y la implementación legitimada de las recetas de organismos financieros internacionales (Ruiz, 2014 y 2015).

Al mismo tiempo, se hacía evidente otra dominante temática que reforzaba un tipo de desigualdad sociolingüística local en el siglo XX: la discusión intelectual sobre el origen histórico de la lengua quichua en Santiago del Estero. Este proceso sedimentó notoriamente determinadas políticas del habla y, sobre todo, a los hablantes bilingües que habitan el territorio sin el acceso a una educación intercultural bilingüe. Esta temática dominante fue casi excluyente sobre otros temas más conflictivos: por ejemplo, la relación quichua/castellano, atravesada desde el poder estatal y la explotación laboral, la migración y la marginalización de sectores que se convirtieron forzosamente en bilingües. Una dimensión culturalista intensa bloquea las posibilidades de que el quichua pueda ser institucionalizado, escolarizado, enseñado, desarrollado y mediatizado en la vida pública. Algunos sectores intelectuales producen eficaces discursos identitarios *mitificantes* sobre los incas y el quichua en el pasado prehispánico, que favorecen (y están construidas desde) las políticas de promoción turística y los dispositivos culturalistas dominantes (Andreani, 2016). Mediante un abordaje etnográfico, se pudo evidenciar el proceso violento que el sistema educativo aplicó sobre comunidades monolingües en quichua, hecho observado en todo el Salado Medio durante

más de medio siglo (Andreani, 2014b, p. 103-128). No obstante, se evidencia la emergencia de nuevos usos del quichua que no corresponden con los dispositivos de la hegemonía cultural imperante (Andreani, 2015).

En definitiva, la noción de *santiagoñidad* como discurso político-articulador se complejizó notablemente, diversificándose según períodos, grupos de poder, actores y contextos de uso, entrecruzando la problemática de la desigualdad y la diferencia con las estrategias de construcción de hegemonía por parte de grupos sociales en posición dominante. Estrategias que recurrieron a la construcción simbólica apoyada en la producción de una identidad común y el *borramiento* de perdurables y profundas diferencias sociales, económicas y culturales. El folklore, los rituales anuales colectivos y las “fiestas populares” congregan a una buena parte de la población de diversos orígenes sociales, para rendir tributo a una identidad y una historia comunes, en las que desaparecen a la vez las diferencias de clase y una multiplicidad de sujetos sociales cuya identidad e intereses tienen dificultades para hacerse escuchar en el mundo social cotidiano. Estos procesos, con sus rituales y discursividades, tienen diversos y recurrentes antecedentes, pero parecen haberse afianzado especialmente –al igual que en el caso de Salta- en la década de 1990, en la medida en que políticas económicas de concentración de la riqueza y ciertos procesos de exclusión/integración de poblaciones urbano-marginales y campesinas se han consolidado y han desarrollado nuevas modalidades de hegemonía, que, sin embargo, se ven enfrentadas a las heteronomías que surgen de un mundo rural con múltiples modos de organización y de sutiles estrategias de diferenciación que no parecen perderse bajo el paraguas oficial de la *santiagoñidad folklorizante*.

Junto con la producción del folklore y vinculado con él de diversas maneras, un catolicismo cultural diverso y abigarrado atraviesa todas las clases sociales y funciona como poderoso

aglutinador, pero escapando a su vez de diversas maneras a los intentos de control de la jerarquía católica, al punto que los grupos religiosos que van construyendo identidades no católicas parecen moverse entre la diferenciación identitaria y la porosidad de prácticas rituales y discursivas (Remedi y Miguel, 2010; Miguel, 2014). Y es que aquel catolicismo fue también un instrumento "civilizador" en manos de las élites ilustradas de los siglos XIX y XX, que en esta región necesitaban someter o suprimir -para realizar sus proyectos de desarrollo capitalista periférico- a mayoritarias poblaciones indígenas y mestizas más o menos "integradas", así como a los "indios" del Chaco, diferenciados de los anteriores por su condición aún belicosa y territorialmente segregada.

Los proyectos modernizadores a partir de la organización de la república a fines del siglo XIX se propusieron "pacificar" el territorio avanzando sus fronteras en una guerra que -como la de la patagonia- concretaba el avance del estado sobre la región. combinando el establecimiento de nuevas poblaciones "no indias" con el sometimiento violento o la aniquilación de poblaciones cuya condición humana aparecía cuestionada. En este recorrido fuimos advirtiendo que la cuestión no se limitaba a discursos sobre *santiagoñidad*, sino a un conjunto más amplio de problemas en los que lo que estaba en juego eran luchas simbólicas de clasificación y procesos de *gubernamentalidad* de porciones de la población que el discurso civilizatorio del siglo XIX, tanto como los distintos proyectos modernizadores del siglo XX, habían dejado fuera del proyecto nacional, al extremo de apuntar a su exterminación física o simbólica, como los indígenas del Chaco (Concha Merlo, 2016) o a quienes se les asignaban roles subsidiarios que los mantenían en el nivel de la subsistencia, para luego hacerlos objeto de disciplinamiento y estigmatización por la propia condición en que se los ponía. Pero al mismo tiempo, se trataba de una mirada focalizada en los procesos que tenían como

actores al Estado, a las jerarquías eclesiásticas, a los escritores consagrados, a los grupos políticos hegemónicos. A partir de allí comenzamos a prestar atención también a los intersticios de aquellos procesos de dominación y exclusión, los modos como en esos contextos los grupos *subalternizados* eran asimismo productores de discursos y de *performances* y sujetos de saberes, de técnicas y a veces de proyectos políticos que de diversas maneras negociaban o confrontaban los discursos y certezas hegemónicas (Vargas 2013, 2016).

Es en este espacio complejo de producción simbólica y reproducción social que se inscriben articuladamente las diferentes preocupaciones que configuran el proyecto que es materia de esta publicación y que seguirá reconstruyéndose como objeto de indagación en el proceso de análisis y confrontación: la construcción discursiva de la identidad y sus efectos en los procesos de desigualdad social.

Pensar las categorías identitarias que determinado grupo utiliza para referir a otro o a sí en distintos momentos de la historia y preguntarnos cómo se relacionan estos sujetos con dichas clasificaciones y qué tienen estas que ver con la estratificación socioeconómica de la población en la provincia, se convirtió en una pregunta que caló profundamente en el grupo de investigación. La adopción de esta perspectiva epistemológica nos permitió profundizar en la tarea de desnaturalizar la precomprensión de los sujetos y procesos a investigar, en tanto que pudimos reflexionar sobre la génesis de las categorías con que los nombramos. Se hizo necesario, entonces, inscribir las categorías en procesos históricos y situarlas en espacios de relaciones, la que fue la principal estrategia de abordaje compartida por todos los miembros del proyecto. En esta línea, el trabajo de archivo e historización y lectura de los aportes bibliográficos arriba citados fue fundamental. A su vez, el ejercicio de reflexividad situado en tal horizonte nos llevó a recortar las configuraciones cotidianas (Eliás, 1987) o *locus* en

las que se sitúan, interactúan y producen las perspectivas que clasifican y califican a los sujetos, y en las que, a su vez, los productores son objeto de clasificación recíproca.

Estas perspectivas del mundo mantienen al menos una serie de características: en primer lugar, los sujetos clasifican a otros como parte del proceso de diferenciación social entre mismidad y alteridad. En segundo lugar, por las lógicas de las posiciones en el espacio social existen asimetrías respecto de la posibilidad de que esa visión del mundo se imponga como dominante. Tercero, siempre que hay dominación y las categorías sean impuestas en su mayoría "desde arriba", existen visiones que intentan resistir y que pueden adquirir distintas formas expresivas. Por último, las categorías identitarias y la valoración que portan inciden *performativamente* en la formación de subjetividades y el modo en el que las personas se autoperciben. A su vez, se puede pensar en lógicas diferenciales que vienen dadas por el lugar geográfico o espacial, es decir, por los lugares en los que los sujetos habitan: lo urbano-rural, lo culto-popular, el centro-periferia o Buenos Aires-interior. De este panorama surge una geografía cultural que distingue los espacios habitados de manera desigual y diferenciada en términos de qué espacios concentran a la economía, la oferta cultural y el poder político.

## Metodología

Nuestro proyecto implica una línea de trabajo amplia, integrada por un numeroso grupo de investigadores formados, jóvenes investigadores, becarios doctorales, tesis y estudiantes avanzados, que confluyen en una problemática común abordada desde múltiples perspectivas. Una estrategia fundamental consiste en la confrontación y el debate de resultados parciales de investigaciones complementarias, articuladas por un

conjunto de referencias teóricas, hipótesis comunes y un espacio-tiempo de indagación empírica compartido. El proyecto involucró la exploración tanto de fuentes primarias como secundarias. Para el primero de los casos, la investigación implicó trabajos de campo intensivos, utilizando estrategias como las entrevistas en profundidad y la observación participante. Con respecto a las fuentes secundarias, con el afán de conocer los modos en que la producción discursiva de las diferencias se articuló con la reproducción de las desigualdades, se recurrió al trabajo de archivo y biblioteca como principales insumos. Estas fuentes estuvieron constituidas principalmente por archivos periodísticos, correspondencia particular, boletines oficiales, censos, obras de intelectuales destacados -y otros no reconocidos- de la provincia, discusiones parlamentarias y legislación. En los casos de abordaje de comunidades bilingües (quichua-castellano), campesinas (o con vinculaciones con el pasado indígena), sectores religiosos diversos (evangélicos, católicos, entre otros), mediáticos (radiales, televisivas, redes sociales, etc.) o de sectores urbanos que participan en eventos culturales masivos que representan intensamente dispositivos identitarios provinciales, se realizó un abordaje cualitativo -con participación en terreno-, con numerosas técnicas de recolección de datos (registro virtual, entrevistas en profundidad y semiestructuradas, abordajes colaborativos según se requiera) y un abordaje estratégico de corte etnográfico no solo en poblaciones de tiempo presente, sino también para realizar nuevas preguntas socioantropológicas a documentos de archivo.

### **Resultados alcanzados**

Enfocamos los resultados parciales organizándolos en torno a los objetivos específicos del proyecto. En relación al primer objetivo específico (la indagación de las formas históricas de

clasificar la población en obras reconocidas y menos consagradas), A. T. Martínez presentó en el Coloquio "La Selva, La Pampa, el Ande" un trabajo elaborado con C. Gómez, titulado "Indios muertos o indios vivos: las reflexiones sobre la identidad de Canal Feijóo y F. R. Santucho en las décadas de 1940 y 1950". En él confrontan dos trabajos portadores de discursos identitarios publicados ambos en contexto de crispaciones: "El indio en la provincia de Santiago del Estero", de Santucho (1954), y "Confines de Occidente" de Canal Feijóo, largamente elaborado a lo largo de la década de 1940 y publicado en 1955. Ambos libros -escritos en un marco de relaciones desiguales y diferenciadas de consagración y legitimación intelectual en la escena santiagueña y nacional, y de referencias cruzadas (San-tucho admite la importancia de los aportes de Canal Feijóo)- fueron publicados en medio de las crispaciones étnico-políticas del país en torno al peronismo: la emergencia del "cabecita negra", la imagen blanqueadora del obrero industrial, la ambigüedad *folklorizante* frente a la identidad indígena y hechos como la masacre de Pilagá o el primer Malón de la Paz. Santucho, desde Santiago y en medio de festejos que buscan recuperar la hispánica Madre de ciudades, se apoya en los contrincantes de los hermanos Wagner para afirmar la vigencia de una presencia indígena en las poblaciones contemporáneas. Canal Feijóo, desde Buenos Aires ya, y tratando de totalizar una larga reflexión sobre identidad argentina, propone pensar un mestizaje no cumplido, listo para reactivarse en favor del costado uterino, rechazando explícitamente la transposición biologicista de la hibridez, y planteado como proceso abierto, donde la *indigenidad* se encuadra de modo inestable, sin perderse ni diluirse ni hacia lo "negro" ni hacia lo "blanco", en "detente", pasmada. Lejos de repetir el tópico tan común entre los folklorólogos de entonces, que planteaban al indígena como parte de la naturaleza inmóvil, propone un "pasma histórico" abierto a la reactivación creativa, a la espera del momento apropiado.

Ambos autores buscan entonces alternativas teóricas para decir una *indigenidad* viva y presente en la realidad cotidiana de la provincia de Santiago.

Abuchacra indagó los textos de Abregú Virreira (1918), Di Lullo (1937) Bernabé Gómez (1942) y Olmos Castro (1942 y 1945) en busca de una descripción del contexto en que se desarrollaron las luchas políticas del naciente peronismo en las áreas rurales de Santiago del Estero, prestando atención al sistema productivo provincial en base a la explotación forestal y los clivajes étnicos que lo ordenaban. Vezzosi ha realizado trabajos de archivo en torno a la producción de estatalidad y el discurso moral sobre el trabajo en el ciclo del obraje, recuperando fundamentalmente el contexto de fines del siglo XIX y las obras de Fazio Rojas y Gancedo. Fruto de ello ha presentado una ponencia en las Jornadas REPSA 2019 mostrando la articulación de un discurso moral sobre el trabajo, cargado de apreciaciones étnicas negativas sobre las poblaciones nativas, sobre las que se proyectaba una necesidad civilizatoria.

Concha Merlo ha trabajado en torno a los regímenes identitarios relacionados a los actores rurales. Analizó las articulaciones entre los modos en que son representados desde posiciones de poder y los modos en los cuales los sectores populares rurales construyen su identidad. Esto implicó el abordaje de textos como los de Gancedo (1885), Fazio (1889), Lascano (1889) y Rojas (1907), por un lado; y de actores situados en espacios rurales que fueron activos productores de discursos de identidad en la campaña santiagueña, como Moreno Saravia (1937), Andrónico Gil Rojas (1954, 1962), por otro. Este trabajo con fuentes escritas tuvo como objetivo rastrear las relaciones entre los discursos hegemónicos, sus modos de clasificar los actores y sus prácticas, y las prácticas identitarias de los sujetos subalternos que atraviesan actualmente procesos de reconocimiento indígena o de abierto rechazo e incluso repulsión a dichas iniciativas de *reencasamiento*. Su trabajo de tesis de



doctorado (2019) se orientó a describir como marcas históricamente estigmatizadas "desde arriba" se convertían -no sin ambigüedades- en emblemas identitarios de organizaciones formadas en el marco de conflictos territoriales generados por el corrimiento de la frontera agraria.

En relación al segundo objetivo específico (indagar en el correlato de las desigualdades-diferenciación que aparecen en los discursos y prácticas estatales), Vezzosi y Martínez han publicado en 2019 un artículo titulado "Amalio Olmos Castro y la cuestión social en Santiago del Estero. El Departamento Provincial del Trabajo (DPT) entre límites estructurales y conflictos ideológicos". Allí retoman la trayectoria de Olmos Castro con la preocupación de entender las razones por las cuales la legislación laboral protectora encontró dificultades para implementarse en la provincia. Encontramos en este caso clivajes ideológicos entre los agentes del estado provincial a cargo de la implementación y la dirigencia gremial, que se venían a sumar a los conflictos de intereses económicos que ya conocíamos y habíamos publicado en otros artículos. El católico social Olmos Castro, más allá de su compromiso personal en favor de los obreros y obreras rurales y urbanos más desprotegidos, tuvo dificultades para trabajar con los gremios socialistas urbanos, y esta posición se acentuó a partir de 1943, en un conflicto clave que describen en el texto. Al mismo tiempo, la investigación que fundamenta el artículo permitió sistematizar los factores que incidieron en la lenta evolución de la cuestión social, a saber: a) conflictos entre los gremios y el director del DPT; b) dificultades de sindicalización más allá del área urbana y en ámbitos ligados a tradiciones de servidumbre como el empleo doméstico; c) cuestiones estructurales, relacionadas con el proceso de conformación del Estado provincial y su lugar periférico en la modernización capitalista del país.

Entre de 2019 y 2021, Ithuralde ha publicado trabajos donde se aborda de manera exploratoria las condiciones actuales

de la Educación Primaria de Jóvenes y Adultos (EPJA). Entre las características salientes destaca el modo en que los y las docentes provienen mayormente de sectores populares y han estudiado, en general, para profesores y profesoras de educación primaria (en general con título específico en modalidad de personas Jóvenes y Adultas (JyA), a diferencia de otras jurisdicciones) no como vocación, sino como la mejor opción disponible en sus diversas situaciones, como estrategia práctica de reproducción social. Asimismo, los trabajos de Ithuralde (Ithuralde y Dumrauf, 2016; Ithuralde y Dumrauf, 2019; Ithuralde y Dumrauf, 2020) dan cuenta de prácticas de homogeneización y de educación compensadora que se lleva adelante en este nivel educativo

Aranza Morales, por su parte, viene trabajando desde abril de 2019 en su tesis de grado de la Licenciatura en Sociología, el cual trata la temática de la feminización de la educación inicial como un caso de producción de desigualdades a partir de la diferencia de género. El trabajo se titula "¿Qué es ser maestra jardinera? Sentidos asignados a la función docente en el nivel inicial. Entre los discursos y las prácticas".

Villavicencio ha avanzado en la contextualización de la cuestión que nos ocupa a través del estudio de procesos culturales y fiestas populares identitarias en otros países de América Latina, como la fiesta del Inti Raymi (en Perú), preguntándose si las políticas de identidad pueden compatibilizarse con los modelos socioeconómicos del turismo internacional, y cómo estas construcciones identitarias se encuentran atravesadas por historicidades conflictivas, situadas en un capitalismo periférico y dependiente, que durante cientos de años alimentó a los grandes centros de poder. El trabajo ha sido publicado como artículo con referato en la revista *Trazos*. Otro trabajo en evaluación para ser publicado aborda los cambios en la urbanización de sectores populares en Lima, conocidas como "barriadas". Los desplazamientos sobre el territorio, las expe-

riencias sociales y las políticas habitacionales implementadas son fenómenos que nos permiten entender las formas en las que el Estado responde a las necesidades de sus márgenes. Las prácticas de Estado referidas a las regiones subalternas son aquí analizadas como otro caso que permite pensar posteriores comparaciones.

Villalba ha profundizado en el marco de su tesis doctoral en el análisis de las políticas sociales, específicamente en el estudio de la Política de Viviendas Sociales de la provincia. Dichas políticas entendidas como prácticas estatales que interpretan lo social que simbolizan las posibilidades de nominar, significar y hacer; además, construyen, regulan y cristalizan formas de ser, pensar y habitar el espacio. El análisis profundiza específicamente en aquellas intervenciones estatales en y sobre la sociedad vinculadas a problemáticas de vivienda y a condiciones de habitabilidad de ciertos sectores y que no pueden plantearse en términos teóricos ni de intervención independientemente de los procesos de estructuración social que tienen lugar como corolario del incremento de las desigualdades sociales. En esa misma línea, el espacio es comprendido como una dimensión constitutiva de la sociedad, por eso es analizado en relación con las lógicas de la estructura social en un determinado contexto histórico, en la actualidad.

En relación al tercer objetivo específico (analizar en el discurso mediático local, las representaciones de la diferenciación social, las alteridades culturales y su correlato con las desigualdades), Vezzosi (2021) ha publicado en la revista *Polhis* un artículo titulado "Revisando la negación de lo político en el peronismo interior. "Pro-nazis" y "turcos coimeros" en el primer peronismo santiagueño". En este texto, a partir de los conflictos internos del peronismo santiagueño, muestra que los grupos en pugna ("halcones" y "palomas") pertenecían a mundos sociales diferentes, y que el conflicto estaba atravesado por la eficacia de la (des)calificación y (des)legitimación del

adversario político (“pro-nazis” y “turcos coimeros”) en torno a la producción moral de un discurso social clasificatorio y discriminatorio. Este artículo ha implicado también adentrarse en la perspectiva antropológica de la producción moral.

Martínez (inédito) retomó la indagación sobre las lecturas locales de Canal Feijóo, poniendo el acento esta vez en la necesidad de constituir un “clásico” local que sería luego “monumentalizado”, pero donde la relectura que se hace al calor de la crisis multisectorial que culmina en el *Santiagoñazo* genera un lugar de enunciación nuevo, el que circula en la prensa local desde donde se habilitan aristas en qué apoyarse para proponer un proyecto político emancipador. Este trabajo deja abierta la reflexión sobre la producción de la antinomia Di Lullo-Canal Feijóo y su continuidad en el discurso oficial, como la producción de un clivaje simbólico modernización-tradición.

Respecto del cuarto objetivo específico (analizar la producción simbólica en torno a la etnicidad, el género, las prácticas políticas y religiosas, la pobreza, la desigualdad y el éxodo, generada en espacios subalternos), Abuchacra (2021) ha presentado su tesis de licenciatura “Trabajadores rurales e inmigrantes: el surgimiento del peronismo en el interior santiagueño (1945-1947)” en la que trabaja el rol de empresarios obreros y trabajadores rurales en la emergencia del peronismo santiagueño. Este trabajo va delineando la emergencia de un sector subalterno que construye discursos y prácticas políticas propias (ese mismo racializado por los sectores dominantes, según indican los trabajos de Vezzosi).

Concha Merlo trabajó en torno a las tensiones identitarias que se viven en los departamentos Copo y Alberdi a partir de la fragmentación de un espacio social unificado en procesos anteriores mediante la imposición/apropiación local de la categoría identitaria “criollo”. Esta categoría es puesta en discusión en el presente a partir de procesos de auto-reconocimiento étnico a través de los cuales un núcleo importante de pobla-

dores de dichos departamentos se reconoce como lule-vilela. Dicho trabajo se encuentra plasmado en su tesis doctoral.

Miguel trabajó en la problemática vinculada a medios masivos, redes sociales y religiosidad. Por un lado, con base en trabajos anteriores sobre radiofonía evangélica, avanzó en el análisis de las condiciones de la convergencia mediática y las transformaciones en el ecosistema digital para referirse a los escenarios que construyen distintas redes evangélicas integradas por medios clásicos y digitales. Asimismo, para aproximarse a las articulaciones entre cultura digital y religiosidad, analizó la cuenta del Papa Francisco en Twitter (@Pontifex\_es) y las repercusiones entre los usuarios que se reflejan en esa red social. Considerando el marco de interacciones y los formatos propios del espacio digital abordó aspectos enunciativos, mediaciones estéticas y elementos intertextuales. También dio cuenta de la visibilidad de expresiones religiosas locales a partir de la construcción discursiva periodística y los criterios de noticiabilidad –particularmente en debates y disputas en redes sociales y medios masivos- para aproximarse a las condiciones de producción, circulación y recepción de discursos religiosos en el contexto del noroeste argentino. A través del análisis de la construcción de noticias, registró las particularidades de procesos de *folclorización* en el discurso periodístico y religioso, así como las estrategias de los lectores y usuarios de redes sociales que participan de los debates mediáticos. Estas expresiones le permiten analizar la diversidad religiosa y comprender los diálogos y confrontaciones que se establecen entre creencias populares, discursos y prácticas religiosas en el marco de las formaciones locales de alteridad (Briones, 2005; Segato, 2007). Se presentaron una conferencia y una ponencia, esta última sistematizada y profundizada en un artículo enviado para su evaluación actualmente en curso.

Los resultados referidos al quinto objetivo específico (estudiar los dispositivos de diferenciación desplegados en esceni-

ficaciones públicas masivas) estuvieron vinculados al aporte de Villavicencio, quien trabaja desde el concepto de *performance* las Marchas de los Bombos y las Marchas del Silencio. Muestra cómo ambas manifestaciones pudieron cuestionar y disputar sentidos a través de prácticas y códigos específicos, formando parte de procesos de formación del Estado santiaguense. Estos sentidos en disputa pudieron funcionar como base para configurar políticas públicas gubernamentales, a lo largo del año 2003, definiendo a través de estas las condiciones del *posjuarismo* en la provincia de Santiago del Estero. Analiza la emergencia de un lenguaje para abordar el conflicto del Doble Crimen de la Dársena y, a partir de este, los cambios políticos que derivaron en la Intervención Federal del año 2004. También indaga en cómo se establece un tiempo liminar, donde nace el pedido de justicia, y cómo ante este surge también un mensaje de unidad que evocaba a un pasado formador común y que operaba como marco de una configuración identitaria definida. Desde el abordaje de estas dos marchas, tan diferentes y casi simultáneas, se propuso rastrear las producciones discursivas del campo político, de la cultura popular santiaguense, así como de sectores subalternos, que por definición carecieron de poder para instalar en la agenda pública sus propias representaciones

Finalmente, en relación al sexto objetivo específico (analizar la producción del "interior" como diferenciación "marco" centro-periferia a través de las disputas sobre las políticas públicas, los discursos políticos y de organizaciones sociales y culturales), en el prólogo del libro *La Selva, La Pampa, el Ande, los caminos interiores de la cultura argentina* (Orquera y Sánchez, 2020), Martínez resalta el "carácter incompleto" del corpus y el canon de la historia de la cultura argentina y "la miopía de un sentido común ignorante de las condiciones en que se constituye y de sus consecuencias" (p. 11). Por eso, propone que "la preocupación no tiene que ver solo con una ampliación,

sino fundamentalmente con una reorganización relacional de los estudios sobre la producción y la circulación cultural en el conjunto del país” (p.12 ), para luego avanzar sobre la importancia de analizar las políticas de los estados provinciales y en general de las instituciones, para concluir:

Cultura letrada, o erudita y cultura popular reaparecen en la escena como categorías, para imbricarse en un juego que no puede desvincularse del análisis de los procesos del criollismo, los movimientos *folklorizadores*, los festivales, el turismo, fenómenos todos donde la interrogación cultural argentina condensa las experiencias de su pertenencia latinoamericana, su voluntad europeísta, los diversos fenómenos migratorios que la han atravesado en su historia, su complejísima historia étnica de negaciones y retornos de lo negado, el carácter plebeyo y corporativo de su cultura política. Las contradicciones y disputas por los criterios de legitimidad cultural exhiben todas las tensiones entre lo considerado nacional y lo provincial, pero ya no como circunscripciones estatales, sino como espacios identitarios de valoración: cómo se cruzan las miradas de la capital sobre las provincias, cómo estas se presentan para responder a esa mirada y cómo eligen también configurar nuevas palabras propias, con menos recursos posiblemente, pero más fieles a sí mismas, disputando nuevos criterios de autenticidad y calidad. Lo culto y lo popular, la producción de lujo y el mercado del gran público aparecen una vez más aquí como tensión irresuelta donde parecen jugarse los valores y los modos de entender la democratización, la capacidad inclusiva viva y en transformación de las expresiones culturales, arrancadas una vez más de su “mundo aparte” (el del museo, sea en versión ilustrada o *folklorizante*) para poner sobre el escenario, transfigurados en arte, los conflictos y las tensiones que atraviesan a las sociedades. (Orquera y Sánchez, 2020, página 23)

## Bibliografía

- Achával, José Néstor (1993). *Historia de la iglesia en Santiago del Estero. Siglos XIX y XX*. Santiago del Estero: Ediciones UCSE.
- Adamovsky, Ezequiel (2009). *Historia de la Clase Media Argentina. Apogeo y decadencia de una ilusión*. Buenos Aires: Planeta.
- Adamovsky, Ezequiel (2012). *Historia de las clases populares en Argentina*. Buenos Aires: Sudamericana.
- Altamirano, Carlos (2001). *Bajo el signo de las masas (1943-1973)*. Buenos Aires: Grupo editorial Planeta/Ariel.
- Altamirano, Carlos (2011). *Peronismo y Cultura de Izquierda*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.
- Álvarez Leguizamón, Sonia (coord.). (2010). *Poder y salteñidad. Saberes, políticas y representaciones sociales*. Salta: SEPHIA.
- Álvarez Valdés, Ariel (2004). *La Universidad Católica de Santiago del Estero. Luces y sombras en cuarenta años de historia*. Santiago del Estero: Ediciones ACUCSE.
- Anderson, Benedict (1993) "Comunidades imaginadas. Reflexiones sobre el origen y la difusión del nacionalismo". México: Fondo de Cultura Económica.
- Andreani, Héctor (2014b). *Quichuas, picardías y zorros. Conflictos y tácticas en una comunidad bilingüe*. Santiago del Estero: EDUNSE.
- Andreani, Héctor (2015). "Apuntes para un mapeo de nuevos usos del quichua santiagueño (Argentina)". *Lenguaje*. 43 (2), pp. 301-332.
- Andreani, Héctor (2016). "La desesperación imperial de la burguesía política. Notas sobre chovinismo historiográfico, lengua nativa y clase en Santiago del Estero (Argentina)". *Corpus. Archivos virtuales de alteridad americana*.
- Barrionuevo, Vanessa y Ruiz, Emanuel (2015). "Religión y política en Santiago del Estero. El debate por la enseñanza religiosa durante la reforma de la constitución provincial de 1997". Ponencia presentada en las VI Jornadas sobre Poder y Religión 2015. Facultad de Humanidades de la Universidad



Nacional de Salta.

- Barros, Sebastián (2011). "La crisis de la deferencia y el estudio de las identidades políticas en los orígenes del peronismo". *Papeles de Trabajo*. 5(8), pp. 13-34.
- Bartolomé, Miguel (2003). "Los pobladores del "desierto" genocidio, etnocidio y etnogénesis en la Argentina". *Cuadernos de Antropología Social*. 17(1), pp. 163-189.
- Bhabha, Homi K. (1994). *The location of culture*. Routledge.
- Bourdieu, Pierre (1972). *Esquisses d'une théorie de la pratique*. Droz.
- Bourdieu, Pierre (1979). *La distinction. Critique sociale du jugement*. Minuit.
- Bourdieu, Pierre (1990). "Espacio social y génesis de las "clases". En *Sociología y cultura* (pp. 223-246). México: Grijalbo.
- Bourdieu, Pierre (2019) *Curso de sociología general. Conceptos fundamentales*. Buenos Aires, Siglo XXI.
- Bourdieu, Pierre (2000). "¿Cómo se hace una clase social?" En *Poder, derecho y clases sociales* (pp. 101-130). Bilbao: Desclée de Brouwer.
- Boltansky, Luc (1979). "Taxinomies sociales et luttes de classes (La mobilisation de «la classe moyenne» et l'invention des «cadres»)". En *Actes de la recherche en sciences sociales*. 29, pp. 75-106.
- Briones, Claudia (2005). "Formaciones de alteridad: contextos globales, procesos nacionales y provinciales". En Briones, C. (comp.) *Cartografías argentinas. Políticas indigenistas y formaciones provinciales de alteridad* (pp. 9-36). Buenos Aires: Antropofagia.
- Canal Feijóo, Bernardo (2010 [1948]). *Ensayos sobre cultura y territorio*. UNQ..
- Canaparo, Claudio (2009). *Geoepistemology. Latinoamerica and the location of knowledge*. Peter Lang. Ed.
- Carnovale, Vera (2009). *Los combatientes: historia del PRT-ERP*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Concha Merlo, Pablo (2019). "Regímenes identitarios a través de la Memoria Descriptiva de Santiago del Estero de Alejandro Gancedo (1885): "paisanos/gauchos santiagueños"

- e "indios salvajes del chaco". En Martínez, A.T. (coord) *Discursos de identidad y geopolítica interior. Indios, gauchos, descamisados, intelectuales y brujos* Buenos Aires: Biblos.
- Cuczza, Héctor Rubén (2007). *Yo Argentino. La construcción de la Nación en los libros escolares (1873-1930)*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- De Certeau, Michel (1990). *L'invention du quotidien. Arts de faire*. Gallimard.
- De Santis, Daniel (2010). *La Historia del PRT por sus protagonistas* (1<sup>o</sup> Edición). Serie A formar Filas. Temperley: Estación Finlandia.
- Di Stefano, R. y Zanatta, L. (2000). *Historia de la iglesia argentina*. Buenos Aires: Grijalbo.
- Durkheim, E. y Mauss, M. (1901). "De quelques formes primitives de classification". En *Année sociologique*. 1-72.
- Eliás, Norbert (1987). *El proceso de la civilización: investigaciones sociogenéticas y psicogenéticas*. Fondo de Cultura Económica.
- Escolar, Diego (2007). *Los dones étnicos de la Nación*. Buenos Aires: Prometeo.
- Fanon, Franz (1963 [1961]). *Los condenados de la tierra*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Farberman, Judith (2005). *Las Salamancas de Lorenza. Magia, hechicería y curanderismo en el Tucumán colonial*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Foucault (1966). *Les mots et les choses. Une archeologie des sciences humaines*. París: Gallimard.
- Frederic, Sabina y Soprano, German (comp.) (2005). *Cultura y política en etnografías sobre la Argentina*. Bernal, Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- Ghirardi, Enrique (1983). *La Democracia Cristiana*. Buenos Aires: Centro Editor de América Latina.
- Ghio, José M. (2007). *La Iglesia Católica en la política argentina*. Buenos Aires: Prometeo Libros.
- Go, Julian (2013). "Decolonizing Bourdieu: Colonial ans post-colonial theory in Pierre Bourdieu's early work". *Sociologi-*

- cal Theory*. 31(l), pp. 49-74.
- González Casanova, P. (2006 [1969]). "El colonialismo interno". En *Sociología de la explotación* (pp. 185-234). Buenos Aires: CLACSO.
- Gómez, César Daniel (2011). "La estructura Significativa de la Revista *Dimensión* y su vínculo con el FRIP (1956-1962)". 6ª Jornadas de Jóvenes Investigadores IIGG-UBA.
- Gómez, César Daniel (2013a). "Campo Intelectual y Campo Político en Santiago del Estero. Orígenes de la Nueva izquierda desde una Matriz Extracéntrica. Revista *Dimensión* y FRIP (1955-1965)". Santiago del Estero. Tesis Final de Grado.
- Gómez, César Daniel (2013b). "La cultura como incitación. Apuntes sobre la revista, el grupo y la librería *Dimensión*". *Revista Políticas de la Memoria*. (14), pp. 118-123.
- Gómez, César Daniel (2016a). "Estudio preliminar a la obra de Francisco René Santucho". (e/p). Francisco René Santucho (comp.). *Obras Completas*. 1ª ed. Santiago del Estero: Las Cuarentas.
- Gómez, César Daniel (2016b). "Conciencia americana, interior y Buenos Aires: Francisco René Santucho y la revista *Dimensión*. Santiago del Estero (1956-1962)". Taller Usos y relaciones sociales de los discursos de identidad: Salta y Santiago del Estero. ICISOH CONICET- UNAS. Salta.
- Gómez, César Daniel (2016c). "El Partido Demócrata Cristiano y la institucionalización de la educación superior en Santiago del Estero (1955-1966)". V Taller de Historia Intelectual. IDACOR-CONICET-UNC y Centro de Historia Intelectual. UNQ.
- Gómez, César Daniel y Vezzosi, José Vicente (2018). "La 'muy noble y leal' ciudad de Santiago del Estero: la 'madre de ciudades' y la instauración del IV centenario de su fundación". *Revista Trabajo y Sociedad*. 30, pp. 71-84.
- Ithuralde, Raúl Esteban y Dumrauf, Ana (2016). "La enseñanza de las Ciencias Naturales en la Educación de jóvenes y adultos. Una primera aproximación a la situación de Santiago del Estero". Ponencia presentada en el V Encuentro de

- Educación de Adultos. Universidad Nacional de Luján.
- Ithuralde, Raúl Esteban y Dumrauf, Ana (2019). "Una aproximación a la Educación Primaria de Jóvenes y Adultos en Santiago del Estero, Argentina". *Revista Interamericana de Educación de Adultos*. (41), pp. 35-64. ISSN: 0188-8838.
- Ithuralde, Raúl Esteban y Dumrauf, Ana (2020). "La diversidad como diversidad de carencias en la Educación Primaria de Jóvenes y Adultxs". Enviado a *Perfiles Educativos*.
- Lévi-Strauss, C. (1950). "Introduction a l'oeuvre de Marcel Mauss". En Mauss, M. *Sociologie et anthropologie*, PUF.
- Lévi-Strauss, C. (1958). *Antropologie Structurale*. Plon.
- Mallimaci, Fortunato (1988). *El catolicismo integral en la Argentina (1930-1946)*. Buenos Aires: Editorial Biblos.
- Martínez, A.T.; Taboada, C. y Auat, A. (2011 [2003]). *Los hermanos Wagner. Arqueología, campo arqueológico nacional y construcción de identidad en Santiago del Estero, 1920-1940*. Bernal, Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes..
- Martínez, Ana Teresa (2007). *Pierre Bourdieu, razones y lecciones de una práctica sociológica. Del estructuralismo genético a la sociología reflexiva*. Buenos Aires: Manantial.
- Martínez, Ana Teresa (2010). "Estudio preliminar. Leer a Bernardo Canal Feijoo", en Canal Feijoo, B. *Ensayos sobre cultura y territorio*. UNQ.
- Martínez, Ana Teresa (2011). "Secularización y laicidad: entre las palabras, los contextos y las políticas". *Sociedad y Religión*. (36), p. 66-88.
- Martínez, Ana Teresa y Vezzosi, José Vicente (2013). "Cultura, economía y política en el primer peronismo santiagueño" En Macor, Darío y Tcach, Cesar (ed.) *La invención del peronismo en el interior del país* (Tomo 2) Santa Fe: UNL.
- Martínez, Ana Teresa (2013a). "Modernidad, secularización y laicidad en América Latina. Pensar los recursos teóricos desde el caso argentino". En: *Nostromo. Revista de crítica latinoamericana*. (4). Coyoacán, México: Navarro editores.
- Martínez, Ana Teresa (2013b). "La construcción de un clásico, entre la academia y la política. Lecturas de Bernardo Canal

- Feijóo en la década de 1990 en Santiago del Estero". Conferencia organizada por el Instituto de Estudios Socio-históricos. Universidad Nacional de La Pampa. Santa Rosa, 4 de diciembre.
- Martínez, Ana Teresa (2014a). "Catolicismo y juarismo: el enemigo íntimo. Política y religión en Santiago del Estero". En Saltalamaquia, Homero (comp.) *Cuadernos de Investigación 3* Santiago del Estero: UNSE. ISBN 978-987-33-0518-4.
- Martínez, Ana Teresa (2014b). "En torno a la noción de campo religioso. Categorías para estudiar religión y política en América Latina". En Giménez-Velibeu, Verónica; Giumbelli, Emerson (ed.) *Religión, cultura y política en las sociedades del siglo XXI*. Publicación de la ACSR, Biblos.
- Michi, Norma (2010). *Movimientos campesinos y educación*. Buenos Aires: Editorial El Colectivo.
- Mauss, M. (1923-4). "Essai sur le don. Forme et raison de l'échange dans les sociétés archaïques" *L'Année Sociologique*. T.I.
- Mauss, M. (1934). "Les techniques du corps". *Journal de Psychologie*. XXXII (3-4).
- Mayer Correa, Federico (2004). *Universidad Católica de Santiago del Estero. Antecedentes y primeros años*. Santiago del Estero: Ediciones ACUCSE.
- Miguel, Gloria (2007) "Medios y creencias. Un análisis de la construcción noticiosa de hechos sobrenaturales". Ponencia en VII Encuentro de Jóvenes Investigadores, Santiago del Estero.
- Miguel, Gloria (2014). "Territorio urbano y lugares religiosos. Una aproximación al análisis de las inscripciones territoriales religiosas en la ciudad de Santiago del Estero". *Revista Trabajo y Sociedad*. (22), pp. 195-203
- MOCASE-VC (2016). "Memorias de los orígenes de la Central Campesina de Productores del Norte". Quimilí, MoCASE-VC; Luján, Editorial de la Universidad Nacional de Luján.
- Moyano, Beatriz Elisa (2001). "Pensar la Nación desde las fronteras. El Caudillo, el Gaucho y el Indio en las letras salteñas del siglo XX". Tesis de Maestría en Estudios latinoamericana-

- nos Universidad Andina Simón Bolívar, Ecuador.
- Moyano, Beatriz Elisa (2003). "Mestizaje y Nacionalismo en La tierra en Armas de Dávalos/ Serrano y en algunos ensayos de Juan Carlos Dávalos". *ANDES*. (14).
- Moyano, Beatriz Elisa (coord.) (2004). *La literatura de Salta, espacios de reconocimiento y formas de olvido*. Salta, Universidad Nacional de Salta.
- Moyano, Beatriz Elisa (2007). "Lo posible en los '60: Transformar o conservar las Hegemonías discursivas y sociales" en Rodríguez, Susana Alicia (coord.) *Periodismo y literatura. El campo cultural salteño del 60' al 2000*, Salta, Universidad Nacional de Salta.
- Orquera, F. y Sanchez Patzy, (2020) R. *La selva, la Pampa, el Ande. Vías interiores en la cultura argentina*. Santiago del Estero, UNSE
- Pankonin, Leandro (2016). "Practicar la memoria. Descolonizar el territorio". Tesis para optar al título de Licenciado en Ciencias Antropológicas. Facultad de Filosofía y Letras. Universidad de Buenos Aires.
- Pantaleón, Jorge (2009). *Una nación a medida. Creencia económica y estadística en la Argentina 1918-1952*. La Plata: Ediciones al Margen.
- Picco, Ernesto (2016). *Políticos, empresarios y laicos católicos. Historia y estructura de la élite de poder en Santiago del Estero*. Rosario: Prohistoria.
- Pizarro, Cinthya (2006). "Tras las huellas de la identidad en los relatos locales sobre el pasado". *Cuadernos de Antropología Social*. N°24, pp.113-130.
- Porto Gonçalves, Carlos Walter (2001). *Geo-grafías. Movimientos sociales, nuevas territorialidades y sustentabilidad*. México: Siglo XXI.
- Pratt, Mary Louise (1997). *Ojos imperiales. Literatura de viajes y transculturación*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes.
- QUIJANO, Anibal (2000). "Colonialidad del poder, eurocentrismo y America Latina" en Lander, Edgardo

- (compilador) *La colonialidad del saber: eurocentrismo y ciencias sociales. Perspectivas latinoamericanas*. Buenos Aires: CLACSO, pp.122-151
- Remedi, Roberto A. y Miguel, Gloria E. (2010). "Expresiones simbólicas y relaciones generacionales en el contexto actual del catolicismo en el NOA". *Sociedad y religión*. 20(32-33), pp.188-205.
- Rivero, Paula (2014). "La invención de las tradiciones durante el Festival de Doma y Folklore de Santiago del Estero". Ponencia en las XVIII Jornadas Nacionales de Investigadores en Comunicación (IUNA).
- Rivero, Paula (2015). "La representación de lo femenino en visperas y durante el festejo del Aniversario 450 de Santiago del Estero". Ponencia en las XIX Jornadas Nacionales de Investigadores en Comunicación (UNN).
- Romero, Luis Alberto (coord.) (2004). *La Argentina en la escuela. La idea de nación en los textos escolares*. Buenos Aires: Siglo XXI.
- Ruiz, Emanuel M. (2014): La reforma del Estado en las provincias argentinas. Un análisis sobre los diagnósticos, recetas y evaluaciones del Banco Mundial durante los años noventa: el caso de Santiago del Estero. Ponencia preparada para las II Jornadas de Historia de Santiago del Estero y el NOA, agosto de 2014.
- Ruiz, Emanuel M. (2015). "Reforma del Estado y discursos identitarios en Santiago del Estero. La complejidad de la profundización del neoliberalismo local a fines de los años noventa". Ponencia presentada en el Encuentro de Jóvenes Investigadores 2015. Santiago del Estero.
- Sigal, Silvia (1991). *Intelectuales y Poder en la década del 60*. Buenos Aires: Puntosur.
- Santos, Milton (2000). *La naturaleza del espacio. Técnica y tiempo. Razón y emoción*. Barcelona: Ariel.
- Santucho, Julio (2005). *Los últimos guevaristas. La guerrilla marxista en la Argentina*. Buenos Aires: Biblos.
- Salomón, Mariana (2015). "¿Soy Santiagueño, soy chacarera?"

Los imaginarios sobre la identidad santiagueña durante los festejos del aniversario de los 460 años de la ciudad de Santiago del Estero en la prensa escrita". Ponencia en las Jornadas nacionales de investigadores en comunicación. Sede UNNE, Corrientes, 2015.

Segato, Rita (2007). *La Nación y sus Otros: raza, etnicidad y diversidad religiosa en tiempos de Políticas de la Identidad*. Buenos Aires: Prometeo.

Tasso, Alberto (1988). *Aventura, trabajo y poder. Sirios y libaneses en Santiago del Estero 1880-1980*. Buenos Aires: Ediciones Índice.

Tasso, Alberto (2007). *Ferrocarril, quebracho y alfalfa. Un ciclo de agricultura capitalista en Santiago del Estero, 1870-1940*. Córdoba: Alción.

Terán, Oscar (1991). *Nuestros años sesentas. La formación de la nueva izquierda intelectual en la Argentina 1956-1966*. Buenos Aires: Puntosur.

Terán, Oscar (2008). *Historia de las ideas en la Argentina. Diez lecciones iniciales 1810- 1980*. Buenos Aires: Siglo XXI.

Thompson, E.P. (1995). *Costumbres en común*. Barcelona: Crítica.

Torre, Juan Carlos (1990). *La vieja guardia sindical y Perón. Sobre los orígenes del peronismo*. Buenos Aires: Editorial Sudamericana.

Trucco Dalmas, Ana Belén (2013). "Dimensión, una revista de cultura y crítica. Santiago del Estero 1956-1962". *Revista Políticas de la Memoria*.(14), pp. 124-129.

Vargas, Mercedes (2016). "Entre el sujeto y su líder. Un análisis de los efectos políticos del discurso peronista en Santiago del Estero (1944-1955)". Tesis de doctorado, UNC.

Vargas, Mercedes (18 de agosto de 2015). "Políticas de la subjetividad: aproximaciones para el estudio del peronismo en sectores subalternos de Santiago del Estero (<45->55)". *Revista Trazos*.

Vargas, Mercedes (2013). "Primer peronismo y subjetividad política en Santiago del Estero. Apuntes para nuevas lecturas



- extracéntricas". *Revista Identidades*. 5(3), pp. 84-105.
- Vessuri, Hebe (2012). «Internacionalismo científico en la problemática socioambiental y una nueva agenda para las ciencias sociales». Casas, R. y Carton de Grammont, H. (coord.) *Democracia, conocimiento y cultura*. Coord., México: UNAM.
- Vezzosi, José Vicente (2013). "La relación Estado-Iglesia y la gobernabilidad en Santiago del Estero. Un análisis de la conflictiva relación y su incidencia en la gobernabilidad en la Provincia en la segunda mitad de la década del 90". *Nuevas propuestas*. (53). Santiago del Estero: Universidad Católica de Santiago del Estero.
- Vezzosi, José Vicente (2014). "Religión y política en los orígenes del peronismo santiagueño: afinidades discursivas y pertenencias católicas de A. Mittelbach y C. Juárez". *Sociedad y Religión*. vol. XXIV(41), p. 79-118.
- Villagrán, Andrea (2010). "El general gaucho". En Sonia Álvarez Leguizamón (comp.) "Poder y Salteñidad. Saberes, políticas y representaciones sociales".. Salta: CEPIHA/unas.
- Villagrán, Andrea (2014). "La finca", el tiempo y los eventos en Animaná. Un acercamiento al pasado-presente de los Valles Calchaquíes, Salta". *Memoria Americana. Cuadernos de Ethnohistoria*. 22(2), pp. 147-182.
- Visacovsky, S. E. y Garguin, E. (comps.) (2009). *Moralidades, economías e identidades de clase media. Estudios históricos y etnográficos*. Buenos Aires: Antropofagia.
- Wallerstein, Immanuel M. (2005). *Análisis de sistemas mundo: una introducción*. México: Siglo XXI.
- Williams, Federico (2016). "Escuela y porvenir: la cuestión educativa según el decir identitario liberal en Santiago del estero (1930-46)". Tesis de licenciatura en Sociología, FHCSyS-UNSE.

RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA, AGENCIA MORAL Y CRITERIOS: UNA MIRADA DESDE LAS PERCEPCIONES DE DOCENTES Y ESTUDIANTES DE LA FACULTAD DE HUMANIDADES, CIENCIAS SOCIALES Y DE LA SALUD DE LA UNSE ACERCA DE SU ACCIONAR EN TANTO "INTEGRIDAD", "SOCIABILIDAD Y SOLIDARIDAD" Y "BIEN COMÚN Y EQUIDAD"

HUGO MARCELINO LEDESMA<sup>1</sup> ; MATÍAS CASTRO DE ACHÁVAL<sup>2</sup>;  
FRANCISCO JOSÉ MURATORE<sup>3</sup>

## Resumen

Desde el año 2011, un equipo de investigación lleva adelante diversos estudios orientados a conocer acerca de la Res-

1 Doctorando en Administración, licenciado en Administración. Profesor asociado en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud, Universidad Nacional de Santiago del Estero. (Dir.)

2 Doctorando en Educación, abogado, licenciado en Filosofía. Profesor adjunto en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

3 Doctorando en Educación, especialista en Gestión de la Educación Superior. Profesor adjunto en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud, Universidad Nacional de Santiago del Estero. (Co-Dir.)

ponsabilidad Social Universitaria (RSU), la cual, según Vallaey (2019), se presenta como "una nueva política de gestión universitaria que redefine la tradicional extensión y proyección social solidaria, introduciendo un enfoque global de cuidado de los impactos administrativos y académicos en todos los procesos de la universidad" (p.93). Los relevamientos llevados a cabo durante todo este tiempo ponen en discusión la categoría de Responsabilidad Social Universitaria vinculada a la noción de "agencia moral" y a las concepciones "principistas" y/o "consecuencialistas" utilizadas como criterios morales al momento de tomar decisiones. En consecuencia, los integrantes del proyecto coinciden en que el término "Responsabilidad Social Universitaria" merece ser problematizado y discutido, por lo que algunos aspectos de estas discusiones se han puesto en contraste con los datos de percepciones relevados en el actual proyecto de investigación.

El presente artículo tiene por objetivo exponer las percepciones de docentes y estudiantes de la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en relación a su accionar en lo que respecta a la "integridad", "sociabilidad y solidaridad", "el bien común y la equidad"; además, se pretende buscar en estas percepciones evidencias que permitan reconocer la creencia en una agencia moral de la Universidad, así como elementos que posibiliten identificar una concepción principista o consecuencialista en su accionar.

Palabras claves: responsabilidad Social Universitaria; Agencia moral

## Abstract

Since 2011, a research team has carried out various studies ai-

med at learning about University Social Responsibility (USR). The surveys carried out during all this time, put into discussion the category of University Social Responsibility linked to the notion of "moral agency", and to the "principled" and / or "consequentialist" conceptions used as moral criteria when making decisions. . Consequently, the members of the project agree that the term "University Social Responsibility" deserves to be problematic and discussed, so that some aspects of these discussions have been contrasted with the perceptions data collected in the current research project.

The objective of this article is to present the perceptions of teachers and students of the Faculty of Humanities, Social Sciences and Health of the National University of Santiago del Estero in relation to the actions of the same with regard to "integrity", "Sociability and solidarity", "common good and equity" and look in these perceptions for evidence that allows to recognize the belief in a moral agency of the University, as well as elements that make it possible to identify a principled or consequentialist conception in its actions.

Keywords: University Social Responsibility; Moral Agency

## Introducción

Desde hace más de diez años, los autores del presente trabajo integran un equipo de investigación en el cual abordan la temática "Responsabilidad Social Universitaria (RSU)". Del año 2011 al 2016, en el marco del proyecto denominado "Responsabilidad Social Universitaria: el caso UNSE", y desde 2017 hasta la fecha, integran un nuevo proyecto denominado "La Responsabilidad Social en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud. Estudio de las percepciones de sus grupos de interés".

Según Gorrochategui *et al.* (2019), la Responsabilidad Social “como campo de estudio es multidimensional, multidisciplinario, multiparadigmático, diversificado en métodos de abordaje, temas focales y consecuencias operacionales” (p.40). Atento a ello, se consideró necesario definir y explicitar previamente cuál es la posición epistemológica de dichos proyectos.

En cuanto a la selección de un paradigma desde el cual se desarrollarían estas investigaciones, el grupo optó por el paradigma interpretativo, el cual, a decir de Arnal *et al.* (1992), se centra en la comprensión y la descripción de lo singular del objeto de estudio, más que en lo que es generalizable. Se orienta hacia a la generación de un conocimiento ideográfico y enfatiza en interpretar la realidad desde los significados de las personas implicadas. Los trabajos que se están llevando a cabo son, en su mayoría, estudios descriptivos y el enfoque metodológico que se utiliza es el de estudio de casos. Este tipo de estudios se relacionan con una mirada a fondo de un sistema en su propio contexto. Según Zapata, “persigue el entendimiento cabal de un fenómeno en escenarios individuales, para descubrir relaciones y conceptos importantes, más que verificar o comprobar posiciones previamente establecidas” (como se cita en Reyes y Hernández, 2008, p.70).

Así, desde el 2011 a la fecha, el equipo ha producido una importante cantidad de resultados publicados en diferentes eventos científicos y académicos, nacionales e internacionales. En los mismos se ha mostrado, por una parte, que la Universidad Nacional de Santiago del Estero se autopercebe como socialmente responsable. Luego, se ha puesto el foco en la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud para estudiar aquello que perciben sus grupos de interés; se ha encontrado, hasta el momento, un alto grado de percepciones favorables en cuanto a su ejercicio de la RSU.

Si bien estas investigaciones siguen su curso y normal desarrollo, en el seno de las mismas han surgido discusiones en

torno a la categoría de Responsabilidad Social Universitaria vinculada a la noción de "agencia moral", y a las concepciones "principistas" y/o "consecuencialistas" utilizadas como criterios morales al momento de tomar decisiones. Se entiende entonces que el término "Responsabilidad Social Universitaria" merece ser problematizado y discutido, por lo que algunos aspectos de estas discusiones se han puesto en contraste con los datos de percepciones relevados en el actual proyecto de investigación; estos dan lugar al desarrollo del presente documento.

Este trabajo tiene por objetivo exponer las percepciones de docentes y estudiantes de la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud de la UNSE en relación al accionar de la facultad en lo que respecta a la "integridad", "sociabilidad y solidaridad", "el bien común y la equidad"; además, se pretende buscar en estas percepciones evidencias que permitan reconocer la creencia en una agencia moral de la Universidad, así como elementos que posibiliten identificar una concepción principista o consecuencialista en su accionar.

Concretamente, este documento buscará dar respuesta a los siguientes cuestionamientos: ¿Cómo perciben los docentes y estudiantes de la Facultad el accionar de esta en lo que respecta a "integridad", "sociabilidad y solidaridad", "bien común y equidad"? ¿Se advierten en estas percepciones evidencias de la afirmación de una agencia moral por parte de la Universidad? ¿Se pueden reconocer en estas percepciones elementos que sostengan una concepción principista o consecuencialista en el accionar institucional?

### **Discusiones en torno a la ética organizacional, agencia moral y responsabilidad social universitaria**

El Vicepresidente de UNICEF, Juan José Almagro, afirma que

“es sabido que quien tiene el poder tiene también la responsabilidad. Y esa robusta afirmación cobra en el mundo actual una importancia capital al amparo de las nuevas organizaciones” (Santa Fajardo *et al.*, 2016, p. XVI). Así, diversos autores –Cortina (1994), Brown (1992), Lipovetsky (1996), entre otros- han señalado la importancia que la responsabilidad de las organizaciones ha adquirido desde fines del siglo XX y principios del XXI. En el marco de un amplio desarrollo de nuevos mercados y tecnologías, y el surgimiento o la profundización de problemas sociales, políticos, ambientales y económicos, el tema de la responsabilidad de las organizaciones se impone como apartado inevitable de la vida occidental contemporánea. Tal vez por ello en las últimas décadas se ha producido un gran desarrollo de los estudios y prácticas de ética en las organizaciones en general, principalmente en Estados Unidos, pero también en Europa y en el resto del mundo. En este contexto surge la responsabilidad social universitaria como una aplicación específica de los principios de responsabilidad social de las organizaciones al ámbito universitario.

Para algunos es posible situar el nacimiento de esta preocupación ética respecto a la responsabilidad social de las organizaciones en Norteamérica en las décadas del cincuenta y sesenta. Al respecto, sostiene Lipovetsky (1996) que el nacimiento de la ética organizacional se produjo en Estados Unidos a partir de las corrientes denominadas de la “responsabilidad social de la empresa”, que las concebían como organizaciones con obligaciones que iban más allá de las utilidades para los accionistas, que debían preocuparse por las consecuencias sociales de su accionar y a tender así a los intereses de la colectividad.

Según Brown (1992), este enorme desarrollo de la ética de las organizaciones en muchos casos ha deformado el real papel de la ética. Se ha entendido a esta última como un modo de prescribir conductas y disciplinar a los propios miembros de las organizaciones (por ejemplo, a través de códigos de ética,

que algunas empresas obligan a sus empleados a suscribir, y no como un proceso de reflexión para la toma de decisiones. Para este autor, el verdadero e importante rol de la ética es el de servir no de guía de conducta, sino de herramienta para aumentar los recursos para la toma de decisiones de las organizaciones, asegurando de este modo resoluciones más acertadas. Concebida así la ética de las organizaciones, un nuevo elemento de análisis debe ser tomado en cuenta: la responsabilidad de las organizaciones al tomar decisiones.

Dos son, al menos, los modos en que podemos pensar dicha responsabilidad. Por un lado, podemos concebirla de un modo negativo, es decir, como la obligación de no causar daños. Así, las organizaciones en general, y las empresas en particular, tendrían los deberes de no explotar a sus miembros, no perjudicar a sus clientes, no causar daños al medio ambiente ni a la población, etcétera. Pero, además de este tipo de responsabilidad, podemos pensar una responsabilidad positiva, que atienda a la obligación de obrar correctamente (por ejemplo, los deberes de capacitar a los empleados, ampliar la participación de los miembros en la dirección de la organización, tomar en cuenta los intereses de los clientes y de la sociedad en general, cuidar y beneficiar al medio ambiente, etc.). Marvin Brown (1992) sostiene que este sentido positivo de responsabilidad se vincula íntimamente con la capacidad de respuesta de las organizaciones. Lo que se debe hacer no es dar recetas acerca de cómo obrar, sino enseñar a las organizaciones a utilizar las herramientas con las que cuentan para dar respuesta no solo a los miembros de la organización (por ejemplo, a la comunidad universitaria, en el caso de las universidades), sino también a la sociedad toda y al mundo que nos rodea.

Ahora bien, un primer problema a dilucidar respecto de la posibilidad de pensar en la responsabilidad social de las universidades es si resulta posible concebir a las universidades como agentes morales responsables de sus actos. Esto es, ¿pode-



mos considerarlas como sujetos capaces de valorar, en una situación determinada, distintos cursos de acción, elegir uno de ellos y justificar moralmente dicha elección?

Desde una primera perspectiva, solo los individuos pueden ser considerados agentes morales, por lo que son los miembros de la organización (y no la organización misma) los responsables de los actos que esta realice. Desde esta mirada, para hablar de 'agencia moral' es necesario sostener la existencia de intenciones y, puesto que estas últimas solo se dan a través de procesos mentales y corporales, los individuos son los únicos agentes susceptibles de tener intenciones, no así las organizaciones.

Sin embargo, aun reconociendo la indudable responsabilidad individual, desde otra perspectiva es posible sostener que aquella resulta insuficiente para explicar por qué las organizaciones (en este caso, las universidades) pueden resultar responsables de algunos actos. Según Brown (1992), debemos atribuirle 'agencia moral' a las organizaciones –al igual que a los individuos- reconociéndole, de este modo, capacidad para elegir y responsabilidad por las acciones realizadas. Ante la objeción de que solo los individuos tienen intenciones para actuar, siguiendo a este autor, podemos distinguir entre motivo e intención, entendiendo al primero como las razones subjetivas para actuar, mientras que la segunda se refleja en la elección de un acto en particular. Así, distintas motivaciones (codicia, ignorancia, cólera, etc.) pueden llevar a una misma acción, pero estas difieren de la elección de la acción misma (eliminar desechos tóxicos sin ser tratados, por ejemplo). Si aceptamos esta distinción, entonces podemos afirmar que solo los individuos tienen motivaciones, pero que tanto estos como las organizaciones tienen intenciones. Decisiones como la de este ejemplo responden no solo a intereses de los individuos que forman parte de la organización, sino a intereses corporativos y responden a políticas de las organizaciones.

No obstante, reconocer tanto a los individuos como a las organizaciones como agentes morales no significa desconocer la relación que existe entre los miembros de la organización y esta. Sin los primeros, la organización no puede llevar a cabo las acciones y son los individuos, en definitiva, quienes pueden tener en cuenta el proceso de reflexión ética al momento de tomar decisiones.

### **Discusiones en torno a las concepciones en el ejercicio de la Responsabilidad Social Universitaria**

Un aspecto importante al momento de pensar este tipo de responsabilidad es preguntarnos acerca de cuáles son los fundamentos que sostienen la responsabilidad social de las universidades, lo que se vincula, a su vez, a los criterios morales que se tienen en cuenta al momento de tomar decisiones, de actuar de determinado modo o, incluso, de evaluar las acciones de los demás.

En este punto, teniendo en cuenta diversas teorías éticas, evaluando diversas justificaciones y brindando puntos de partida para las consideraciones relativas a lo moral, es posible distinguir dos modelos o respuestas en torno al fundamento de la responsabilidad social universitaria.

Por un lado, podemos denominar *principismo o deontologismo* a las posturas que valoran la moralidad de una acción teniendo en cuenta aspectos relativos a la acción misma, o al principio o deber que la guía, independientemente de las consecuencias que esta produzca. Desde esta perspectiva, se decidirá si dicha acción es justa o injusta, correcta o incorrecta, atendiendo a su adecuación a un determinado sistema de normas morales, principios o deberes, por lo que la corrección moral de un acto no estará dada entonces por la bondad de sus consecuencias, sino por el cumplimiento del deber o principio.

En este marco, podemos enrolar teorías como la kantiana. Para Kant (1951), los calificativos morales (bueno, malo, etc.) solo pueden predicarse respecto de los actos que realizan los seres humanos y no de las cosas. Esto es así porque es el hombre el único que puede distinguir entre lo que "hace" y lo que "quiere hacer", siendo que los predicados morales al estilo de "bueno" o "malo" son asignados al valorar no lo que los hombres "hacen", sino a lo que "quieren hacer". Es decir, lo único que puede ser malo para Kant es la "voluntad humana", y es en ella donde debe indagarse acerca de la moralidad. Lo que quiere decir Kant es que valoramos moralmente una acción de acuerdo con la intención del agente moral (a lo que "quiere hacer"), por lo que la moralidad tiene que ver con la "voluntad humana" y no con el análisis de los hechos en particular.

Pero Kant va a ir más allá y va a considerar que solo podemos preguntarnos acerca de la moralidad indagando no en el contenido empírico o sustancial de la "voluntad humana", sino en las intenciones, lo que los hombres quieren hacer, y esta voluntad humana será "buena" cuando obre simplemente por "respeto al deber" y no con otra intención o interés. Esto significa que para valorar la moralidad de las acciones humanas deberemos observar no si esta acción era de interés para el individuo, o si las consecuencias o efectos que produce la misma son buenos o malos para el agente moral o para los demás, sino que analizaremos si la acción es realizada por respeto al deber.

Para saber si la acción es realizada conforme al deber, Kant nos ofrece un imperativo categórico que pueda servir de principio para valorar la moralidad de toda acción. Se trata de un imperativo general universalizable, aplicable a todas las situaciones posibles en las que debemos juzgar la moralidad de una acción. Podemos enunciar del siguiente modo: "obra de modo tal que quieras al mismo tiempo que la máxima que guía tu acción se torne ley universal" (Kant, 1951). Esto significa que, por

ejemplo, si creemos que debemos mentir cuando nos convenga, tendremos que pensar si estaríamos dispuestos a aceptar que esta máxima se transforme en ley universal, es decir, que todos deban mentir cuando les convenga. De este modo, el imperativo categórico aparece como una ley formal de la cual es posible derivar los diferentes enunciados sustantivos sobre la moral.

Desde otra perspectiva, que puede denominarse *consecuencialismo*, lo importante al evaluar moralmente una acción son sus consecuencias, en función de la adecuación de dichas consecuencias a determinados objetivos o fines, y no necesariamente el cumplimiento de deberes o principios. Las acciones no tendrán entonces, para esta concepción, valor moral en sí mismas, sino que se deberá observar la bondad o maldad de sus efectos. A su vez, dicha bondad o maldad será valorada con relación a que las consecuencias contribuyan o no a lograr determinados objetivos considerados positivos. En esta línea encontramos, por ejemplo, a las teorías utilitaristas. El utilitarismo es la teoría ética consecuencialista por antonomasia. Su concepción acerca de la moralidad implica que una acción sea considerada como "correcta moralmente" de acuerdo con la valoración de las consecuencias que esta acción puede producir y no por su adecuación a algún principio o norma moral.

La concepción utilitarista, originada en la obra de pensadores ingleses como Jeremy Bentham y John Stuart Mill durante los siglos XVIII y XIX, respectivamente, constituye una de las más importantes teorías éticas cuya influencia llega a nuestros días. Para los utilitaristas, los seres humanos estamos guiados por la búsqueda de placer individual, búsqueda que, sin embargo, se debe realizar de manera social y no de un modo meramente individual. El "principio de mayor felicidad", enunciado por Bentham y reformulado innumerables veces por sus seguidores, sostendrá que la corrección o justicia de un acto estará determinada por la contribución de sus consecuencias a la

felicidad (entendida como suma de placeres, o satisfacción de deseos o intereses) de todos quienes están afectados por tales consecuencias. Es decir, un acto será valorado de acuerdo con el mayor grado de felicidad que produzca en el mayor número de individuos afectados por la acción.

### Estudio de percepciones de docentes y alumnos

El estudio de percepciones realizado se basa en el diseño metodológico desarrollado por el proyecto "Observando la Responsabilidad Social Universitaria" del proyecto Universidad Construye País ([http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/rse/334\\_as\\_observando\\_la\\_rsu.pdf](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/rse/334_as_observando_la_rsu.pdf)) de Chile<sup>4</sup>. Allí se define a la Responsabilidad Social Universitaria como la capacidad que tiene la universidad de difundir y poner en práctica un conjunto de principios y valores y se estudia aquello que perciben los miembros de la comunidad universitaria en relación a cada uno de ellos.

Allí se manifiesta también que los principios y valores a poner en práctica son los siguientes (Universidad construye País, 2004, p.28):

- Dignidad de la persona
- Libertad
- Ciudadanía, democracia y participación
- Sociabilidad y solidaridad para la convivencia
- Bien común y equidad social
- Desarrollo sostenible y medio ambiente
- Aceptación y aprecio de la diversidad
- Compromiso con la verdad

4 Proyecto Universidad Construye País - <https://core.ac.uk/download/pdf/46752393.pdf>

- Integridad
- Excelencia
- Interdependencia e interdisciplinariedad

El instrumento de recolección de datos utilizado es una adaptación local de aquel que se usa en el proyecto antes mencionado y su objetivo es conocer las percepciones de los integrantes de las muestras, sobre la puesta en práctica de los principios y valores listados precedentemente.

Se le presenta al encuestado diferentes enunciados sobre cada uno de los principios y valores y este debe manifestarse ante ellos como "muy de acuerdo", "de acuerdo", "poco de acuerdo", "nada de acuerdo" o "no sabe". A los fines de no ser reiterativos, no se listarán ahora estos enunciados; el lector podrá encontrarlos en las gráficas expuestas posteriormente.

Recordemos que en este trabajo solo se van a exponer las percepciones de docentes y estudiantes en relación con los siguientes principios y/o valores: "integridad", "sociabilidad y solidaridad", "bien común y equidad". Es por ello que consideramos conveniente retomar lo planteado en Proyecto Universidad Construye País (2004, p. 54-55) para referirnos a ellos:

- *Integridad*: Cualidad de personas e instituciones que son coherentes con sus principios y valores, tanto en sus declaraciones como en sus acciones, siendo rectas, transparentes y honestas.

- *Sociabilidad y solidaridad para la convivencia*: Dado que los seres humanos no pueden realizar su originalidad sino a través de su participación en la comunidad, deberán responder a las obligaciones que supone la convivencia mutua. Al mismo tiempo, dado el potencial de su libertad, la persona es capaz de realizar actos en los que se asumen gratuitamente

las necesidades de los otros y, así, se practica la solidaridad como la dimensión estética y creadora de la convivencia. La concreción de este supuesto en la vida universitaria implica el fortalecimiento de la identidad de pertenencia y de afirmación de sí mismo de quienes integran la comunidad universitaria, el reconocimiento explícito de los aportes de cada uno a su construcción y la consideración ponderada, a través del ejercicio de la crítica positiva, en un diálogo fundado en el compromiso solidario con la misión universitaria.

- *Bien común y equidad social*: Conjunto de condiciones materiales, socioculturales y espirituales que permiten a la sociedad y a quienes la integran acceder a una existencia digna y a una cada vez mejor calidad de vida. Igualdad de oportunidades para satisfacer necesidades y desarrollar las capacidades de personas y grupos, eliminando y apoyando la remoción de los obstáculos de carácter económico y social, así como los culturales y políticos, que impiden el desarrollo humano. En el ámbito universitario, este principio implica el desarrollo equilibrado de las unidades que componen la institución, gozando todas de una participación equitativa en los recursos humanos y materiales de la universidad para el desarrollo de sus actividades académicas y de extensión. A ello se agrega la necesidad de respaldar, en la medida de lo posible, la valoración social de los profesionales formados en la universidad y de los productos de la investigación y estudios académicos.

## Percepciones de estudiantes

Para relevar las percepciones de los estudiantes, el tipo de muestreo seleccionado fue el no probabilístico, correspondiente a una mixtura entre el muestreo por cuotas y el intencional. El tamaño de la población (sobre todo de alumnos y alumnas) indicaba la inconveniencia de una muestra proba-

bilística; además, la heterogeneidad entre los integrantes de cada grupo obliga a tener representados a los subgrupos integrantes y privilegiar a aquellos con mayor presencia o dedicación en la facultad (recordemos que se trata de un estudio de percepciones, por lo tanto, la presencia es importante). De este modo, se decidieron criterios de selección y cuotas a saber:

- Al menos dos estudiantes por carrera.
- Alumnos avanzados, con al menos las dos terceras partes de las asignaturas aprobadas.
- Se excluye a alumnos que integran los Consejos Directivo o Superior y/o revisten algún tipo de relación de dependencia con la universidad distinta de la ayudadntía docente estudiantil.

Los resultados obtenidos pueden ser observados en las Figuras 1, 2 y 3, que se exponen a continuación:

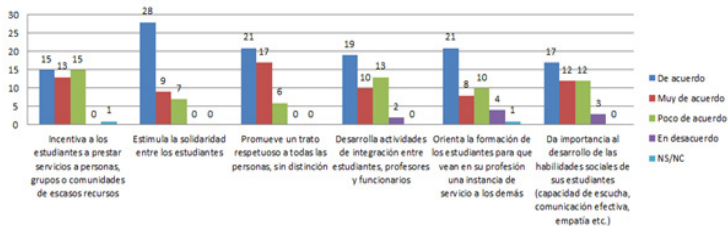


Figura 1. Percepción sobre sociabilidad y solidaridad en la FHCSyS-UNSE.

Grupo de interés: estudiantes

Tamaño de la muestra: 44 estudiantes.

Período de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos



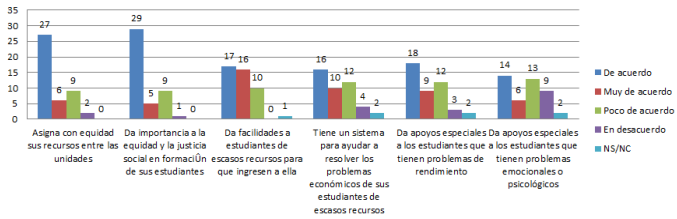


Figura 2. Percepción sobre bien común y equidad en la FHCSyS-UNSE

Grupo de interés: estudiantes

Tamaño de la muestra: 44 estudiantes.

Período de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos.

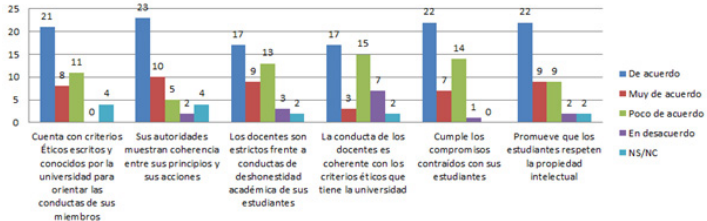


Figura 3. Percepción sobre integridad en la FHCSyS-UNSE.

Grupo de interés: estudiantes

Tamaño de la muestra: 44 estudiantes.

Período de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos.

## Percepciones de docentes

Para conocer las percepciones de los docentes, también se eligió el tipo de muestreo no probabilístico de tipo intencional, privilegiando a aquellos individuos con mayor presencia o de-

dicación. Así, se decidieron los criterios de selección, a saber:

- Al menos un docente por carrera.
- Al menos uno por departamento académico.
- Dedicaciones exclusivas o semiexclusivas.
- Se excluye a docentes que integran el Consejo Directivo y/o Superior o revisten el cargo de secretario de rectorado o facultad, decano, vicedecano, rector, vicerrector.

Los resultados obtenidos se evidencian en las Figuras 4, 5 y 6, las que pueden observarse a continuación:

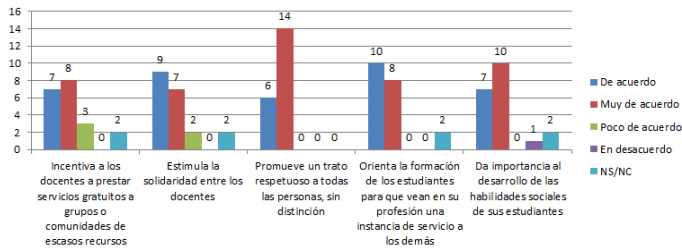


Figura 4. Percepción sobre sociabilidad y solidaridad en la FHCSyS-UNSE.

Grupo de interés: docentes

Tamaño de la muestra: 20 docentes.

Período de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos.

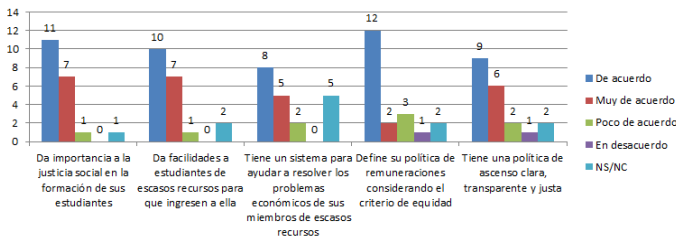


Figura 5. Percepción sobre bien común y equidad en la FHCSyS-UNSE.

Grupo de interés: docentes

Tamaño de la muestra: 20 docentes.

Periodo de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos.

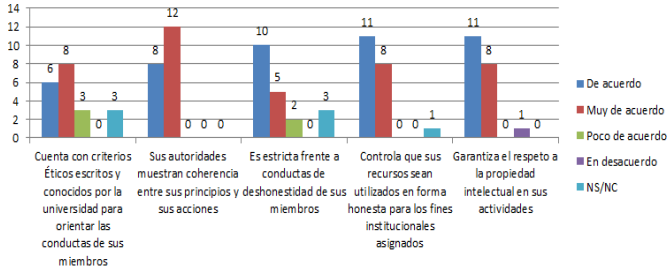


Figura 6: Percepción sobre integridad en la FHCSyS-UNSE.

Grupo de interés: docentes

Tamaño de la muestra: 20 docentes.

Periodo de aplicación del instrumento: último cuatrimestre de 2018.

Observaciones acerca de los gráficos: se muestran valores absolutos.

## Puesta en contraste entre las discusiones planteadas y las percepciones relevadas

Retomando las cuestiones planteadas en los primeros apartados, y atendiendo a las percepciones relevadas de los estudiantes y docentes de la Facultad, es posible observar algunos aspectos interesantes en torno a la comprensión de la responsabilidad social universitaria.

En primer término, habíamos sostenido que un primer problema a dilucidar respecto de la posibilidad de pensar en la responsabilidad social de las universidades era si concebíamos a las universidades como *agentes morales* responsables de sus actos, lo que implicaría –en cierto punto– entender a estas instituciones educativas como capaces de valorar, en una si-

tuación determinada, distintos cursos de acción, elegir uno de ellos y justificar moralmente dicha elección.

Con relación a este punto distinguíamos dos perspectivas. Por un lado, la de quienes sostienen que solo los individuos pueden ser considerados agentes morales, por lo que serían los miembros de la organización (y no la organización misma) los responsables de los actos que esta realice. Y, por el otro, la de aquellos que entenderían que es posible hablar de una agencia moral por parte de las universidades, que vaya más allá de los propios individuos que la componen.

Contemplándolas percepciones relevadas, es posible observar que tanto docentes como alumnos entienden que existe una responsabilidad institucional (en este caso, de parte de la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud), que va más allá de las responsabilidades de los individuos que la componen, las que resultarían insuficientes para explicar por qué la facultad debería actuar de determinado modo y responder por determinados actos.

Al responder sobre aspectos vinculadas a la integridad, sociabilidad y solidaridad para la convivencia, y bien común y equidad social, vinculados al accionar de la facultad, tanto estudiantes como docentes parecen reconocer una *responsabilidad institucional* que iría más allá de los individuos que la integran o de sus motivaciones, y, por lo tanto, de sus procesos mentales y corporales.

De este modo, si aceptamos esta distinción entre motivaciones e intenciones (antes señalada), entonces resulta posible afirmar que, aunque solo los individuos tienen motivaciones, tanto estos como las organizaciones tienen intenciones, por lo que los actos y decisiones de una universidad responderán no solo a intereses de los individuos que forman parte de esta, sino a intereses institucionales que se vinculan a políticas determinadas. Sin embargo, afirmar esto no significará negar las acciones y responsabilidades individuales dentro de las organi-

zaciones, dado que son estos individuos, justamente, quienes finalmente llevarán adelante el proceso de reflexión ética al momento de tomar decisiones.

El segundo aspecto abordado se refiere a los criterios morales que se tienen en cuenta al momento de tomar decisiones, de actuar de determinado modo o, incluso, de evaluar las acciones de los demás. Teniendo en cuenta las diversas teorías éticas, sus justificaciones y puntos de partida para las consideraciones relativas a lo moral, distinguíamos dos modelos o respuestas en torno al fundamento de la responsabilidad social universitaria. Por un lado, un modelo denominado *principista* o *deontológico*, que entiende que un acto es aceptable o reprochable moralmente de acuerdo con aspectos relativos a la acción misma, o al principio o la norma que la guía, sin atender a los efectos o las consecuencias que esta acción genere. Por el otro, denominábamos *consecuencialista* a aquella posición que afirma la moralidad de un acto atendiendo a sus consecuencias o efectos, sin tomar en cuenta los sistemas de normas, principios o deberes que lo guían.

Si vinculamos esto a las percepciones recabadas, podemos observar que tanto estudiantes como docentes parecen percibir no solo un criterio principista o deontológico (por ejemplo, en cuanto a la existencia de "criterios éticos escritos y conocidos por la Universidad para orientar la conducta de sus miembros", o en cuanto a que las autoridades muestran "coherencia entre sus principios y sus acciones"), sino que también aparecería un criterio consecuencialista (en aspectos tales como el control honesto en el uso de recursos, las facilidades a estudiantes de escasos recursos, o el trato respetuoso a todas las personas sin distinciones).

Este aspecto permite entonces pensar a ambos criterios –principista o deontológico y consecuencialista– como concepciones complementarias y no excluyentes, vinculadas a las percepciones de la responsabilidad social universitaria, que

nos permite vislumbrar una responsabilidad institucional que atienda tanto al plano normativo de principios y deberes morales que guiarán las acciones de la organización, como a la evaluación de los efectos y consecuencias de dichas acciones al momento de la valoración moral de una determinada decisión o política institucional.

## Conclusiones

Las cuestiones vinculadas a la responsabilidad social universitaria implican una serie de preguntas sobre los fundamentos de la moralidad, y tienen consecuencias en el accionar cotidiano de las instituciones educativas de nivel superior y su rol en la sociedad. Interrogantes acerca de si debe considerarse a la Universidad como una entidad susceptible de responsabilidad social, o si la valoración de las acciones de esta institución deberá regirse por los principios o deberes que las guían o por sus efectos o consecuencias, resultan de fundamental importancia al momento de reflexionar en torno a la temática de la responsabilidad social universitaria.

Si atendemos a las respuestas recolectadas en la investigación, en relación con aspectos tales como la *integridad*, *sociabilidad* y *solidaridad para la convivencia*, y *bien común* y *equidad social*, vinculados al accionar de la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud, es posible observar que estudiantes y docentes reconocen una *responsabilidad institucional* que trasciende a la de los individuos que la integran o de sus motivaciones, reconociendo así que los actos y decisiones de la facultad responderán no solo a intereses de los individuos que forman parte de esta, sino a intereses institucionales que se vinculan a políticas determinadas. A modo de ejemplo, si observamos las percepciones de los estudiantes sobre *bien común* y *equidad social* (Figura 2), po-

demos encontrar que una gran mayoría de ellos percibe que la facultad asigna con equidad sus recursos entre las unidades, da importancia a la equidad y justicia social en la formación de los estudiantes, da facilidades a los estudiantes de escasos recursos, tiene un sistema para ayudar a resolver problemas económicos, da apoyos especiales a los estudiantes que tienen problemas de rendimiento, como así también a los que tienen problemas emocionales o psicológicos. Si analizamos dichas variables, pero en la percepción de docentes (Figura 5), las manifestaciones en acuerdo se incrementan aún más que en el caso de los estudiantes.

Teniendo en cuenta ello, aunque lejos de agotar este tema, el presente trabajo nos permitió reconocer entonces, en la perspectiva de docentes y estudiantes, la *existencia de una agencia moral* que posibilita pensar en una responsabilidad social universitaria, que tome en cuenta, pero que no se limite, a los individuos que la componen, y que ponga de relieve la importancia de las políticas y decisiones institucionales.

Por otro lado, analizando las percepciones recabadas en relación a las posturas teóricas principistas y consecuencialistas estudiadas, se identificó que tanto estudiantes como docentes sostienen un criterio *principista o deontológico* –a modo de ejemplo, en lo relativo a la existencia de “criterios éticos escritos y conocidos por la Universidad para orientar la conducta de sus miembros”, o en cuanto a que las autoridades muestran “coherencia entre sus principios y sus acciones” (Figura 3 y Figura 6)-, aunque también se vislumbran criterios consecuencialistas, en aspectos tales como el control honesto en el uso de recursos (Figura 6), las facilidades a estudiantes de escasos recursos (Figura 2 y Figura 5), o el trato respetuoso a todas las personas sin distinciones (Figura 1 y Figura 4). Por todo ello, es posible afirmar que, en relación al universo estudiado, pudimos observar la conjunción de criterios *principistas o deontológicos* y *consecuencialistas* al momento de valorar

la toma de decisiones institucionales en el ámbito universitario, que tiene en cuenta no solo los efectos de las acciones, sino también el cumplimiento de los deberes o principios morales.

Sin dudas, las posturas que se adopten no resultan simples, ni estas palabras pretenden brindar una respuesta definitiva a este asunto, sino más bien problematizar la noción de responsabilidad social universitaria, muchas veces proclamada en los discursos institucionales, pero cuya concreción requiere una serie de posicionamientos tanto a nivel individual como comunitario en el marco de nuestras organizaciones universitarias.



## Bibliografía

- Arnal, Justo.; del Rincón, Delio y Latorre, Antonio(1992).*Investigación educativa. Fundamentos y metodología. Barcelona, España: Editorial Labor.*
- Brown, Marvin. (1992).*La ética de la empresa. Barcelona: Paidós.*
- Castro de Achával, Matías. (2012).*Ética, deontología profesional y responsabilidad de las organizaciones.* Santiago del Estero: Editorial MCA.
- Cortina, Adela. (1994). *Ética de la empresa.* Madrid: Ed. Trotta.
- Gorrochategui, Nora, de Oliveira, Valmir, Palamara, Nelson(2019).*Responsabilidad Social de las Organizaciones (rso): Estudios desde la mirada de la Responsabilidad Social hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina.* Santiago: RIL editores. Universidad Autónoma de Chile.
- Kant, Immanuel. (1951).*Fundamentación de la metafísica de las costumbres.* Traducción: Manuel García Morente. Buenos Aires: Editorial "El Ateneo".
- Lipovetsky, Gilles (1996).*La era del vacío. Ensayo sobre el individualismo contemporáneo.* Barcelona: Anagrama.
- Mill, John Stuart. (1980).*El Utilitarismo.* Traducción: Ramón Castilla. Buenos Aires: Editorial Aguilar..
- Proyecto Universidad Construye País (2004).*Responsabilidad Social Universitaria. Una manera de ser Universidad. Teoría y práctica en la experiencia chilena.* Santiago de Chile. ([http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/rse/334\\_as\\_observando\\_la\\_rsu.pdf](http://www.cyta.com.ar/biblioteca/bddoc/bdlibros/rse/334_as_observando_la_rsu.pdf))
- Reyes, Pedro, Hernández, Aymara (2008). "El estudio de caso en el contexto de la crisis de la modernidad".*Cinta de moebio. Revista de Epistemología de Ciencias Sociales.*(32), pp. 70-89.
- Santa Fajardo, Laura (2016). *Responsabilidad Social de las Organizaciones (rso): Aportes teórico-prácticos para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible en América Latina*

/ Santa Fajardo, Laura Michel, [y otros cincuenta y ocho];  
Compiladores, Nora Gorrochategui, Valmir Martins de Oliveira, Ana Patricia Hernández Bernal y Luis Fernando Moreno Garzón. Bogotá: Universidad Santo Tomás.

Vallaes, Françoisy Álvarez Rodríguez, Juliana (2019). "Hacia una definición latinoamericana de responsabilidad social universitaria. Aproximación a las preferencias conceptuales de los universitarios". *Educación XXI*. 22(1), pp. 93-116.

## RELEVAMIENTO DE LAS ORGANIZACIONES DE LA ECONOMÍA SOCIAL, POPULAR Y SOLIDARIA EN LAS PROVINCIAS DE SALTA Y JUJUY

EDGARDO J. F. ARGIBAY<sup>1</sup>; OFELIA MONTENEGRO DE SIQUOT<sup>2</sup>;  
LUIS A. MOYANO<sup>3</sup>; CARLOS ALBERTO SIQUOT MONTENEGRO<sup>4</sup>;  
LAURA GÓMEZ<sup>5</sup>; EDUARDO SALINAS; AILLEN MAMAN

1 Dr. Edgardo J. F. Argibay . Profesor Adjunto Exclusivo Investigador CICyT . UNSE – Director del Proyecto; Organizaciones y Prácticas Territoriales de la Economía Social y Solidaria en las Provincias de Salta y Jujuy – Integrante del INPESS

2 Dra. Ofelia Montenegro de Siquot. Profesora Asociada Exclusiva – Directora de Proyecto CICyT – UNSE – Directora del INPESS (Instituto de Investigaciones y Proyectos de Economía Social y Solidaria) Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud.

3 Mg. Luis A. Moyano Profesor Adjunto Exclusivo; Investigador CICyT . UNSE – Co - Director del Proyecto; Organizaciones y Prácticas Territoriales de la Economía Social y Solidaria en las Provincias de Salta y Jujuy – Integrante del INPESS

4 Mg. Carlos Alberto Siquot Montenegro; Integrante del Proyecto de investigación egresado, integrante del INPESS

5 Prof. Laura Gómez – Jefa de Trabajo Practico Semi Exclusiva ; Eduardo Salinas; Aylene Mamani Estudiantes de la Carrera de Lic. en Cooperativismo y Mutualismo

## Resumen

El presente trabajo es un avance del proyecto de investigación presentado en la convocatoria PI-UNSE 2020 de proyectos de promoción financiado por el CICyT-UNSE titulado "Organizaciones y prácticas territoriales de la economía social y solidaria en las provincias de Salta y Jujuy". Este proyecto surge a partir de las propuestas de las cátedras de Planificación Cooperativa y Mutual, y Desarrollo Local y Regional. Ambas pertenecen a la Licenciatura en Cooperativismo y Mutualismo de la Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud de la UNSE y del Instituto de Investigaciones y Proyectos en Economía Social y Solidaria (INPESS) en ámbitos de la mencionada unidad académica.

La propuesta de investigación surgió como un compromiso del equipo de docentes, consustanciados con el compromiso social de la UNSE respecto al quehacer educativo científico y cultural que nutren nuevas formas de interacción con la sociedad.

## Introducción

El proyecto de investigación alude a un estudio exploratorio-descriptivo de las prácticas y actores de las organizaciones de la economía social y solidaria en las provincias de Jujuy y Salta.

La primera etapa del proyecto propende a la realización de un relevamiento y mapeo de las entidades asociativas, emprendimientos socioeconómicos, formas comunitarias tradicionales y autogestionarias de la economía social (cooperativas y mutuales) en las provincias de Salta y Jujuy.

La propuesta implica, también, localizar los ámbitos territoriales de actuación; características institucionales; moda-

lidades organizativas y de gestión; tipo y dimensiones de la actividad económica; y vínculos y relaciones en red, factores considerados importantes para aportar información actualizada de las nuevas experiencias asociativas, de modo de posibilitar una amplia descripción del estado de situación.

Desde el punto de vista metodológico, se intenta integrar aspectos cuantitativos y cualitativos que arrojen datos sobre las potencialidades sociales y económicas en términos de fortalezas y debilidades.

La relevancia de la información posibilitará una amplia descripción del estado de situación e intenta contribuir en la formación profesional de los estudiantes de la carrera de Licenciatura en Cooperativismo y Mutualismo de la UNSE en la Unidad de Apoyo de San Salvador de Jujuy con estudiantes residentes en la provincia de Salta.

El proyecto se orienta a la articulación de docencia-investigación y sistematización de conocimientos, para ampliar la calidad académica e intentar contribuir en la formación profesional de los alumnos cursantes de la Licenciatura en Cooperativismo y Mutualismo en el territorio de las provincias de Jujuy y Salta.

Se alude, también, a la profundización de prácticas universitarias formativas de indagación y tareas de campo continuas, sistemáticas y de reflexión-acción, cumpliendo en tal sentido con las funciones sustantivas de la Universidad para la sinergia entre la formación e investigación, articuladas ambas con los actores territoriales, sus prácticas y sus formas solidarias de vinculación.

Con relación a esto, la propuesta se erige como un compromiso del equipo de docentes e investigadores del Instituto de Investigaciones y Proyectos en Economía Social y Solidaria (INPESS) de la FHCSYS de la UNSE consustanciados con el compromiso social de la Universidad y sus lineamientos estatutarios referidos al quehacer educativo científico y cultural

respecto a su entorno, que nutran nuevas formas de interacción con la sociedad y con las realidades complejas y multiculturales del hoy.

Asimismo, el proyecto se incorpora conceptualmente en el paradigma extensionista del compromiso de los actores universitarios con su medio. Es así que se pensó en la *curricularización* de prácticas, desde la perspectiva de integralidad de las funciones universitarias. Las prácticas extensionistas que se están ejecutando tomaron el desafío de integrar el currículo de la Licenciatura en Cooperativismo y Mutualismo para brindar a los estudiantes la oportunidad de involucrarse en la resolución de problemas reales y de trabajar en los escenarios propios de su entorno geográfico.

La indagación postula relevar los actores sociales involucrados en las organizaciones de la economía social y solidaria de las provincias de Salta y Jujuy, identificando ámbitos territoriales de actuación, modalidades organizativas de gestión, tipos y dimensiones de actividades o emprendimientos, para optar por una metodología cuantitativa y cualitativa, ya que se carece de cifras que permitan conocer la magnitud y las características del fenómeno a estudiar y, en consecuencia, aportar una aproximación cuantitativa de las entidades existentes.

Las actividades comenzaron en el mes de julio del presente año, con el impulso de la promoción de un espacio de acción y reflexión desde las diferentes asignaturas participantes; además, se busca comenzar la *curricularización* de la extensión universitaria como una estrategia apropiada en la cotidianidad de la labor que corresponde a este ámbito académico.

El proyecto se sustenta en la concepción de extensión universitaria como promoción cultural y como planeamiento de propuestas de integración e intervención que fortalezcan la formación y desarrollo científico-técnico y el mejoramiento de la sociedad.

En ese sentido, desde la docencia se intenta llevar a la praxis

una doble intencionalidad. La primera es la de estimular en los estudiantes la libertad, la autonomía, el compromiso y la creatividad, como el pensamiento reflexivo y crítico propios de la ciencia. El segundo propósito consiste en poner en acto una didáctica que conciba la relación teoría y práctica como principio rector del proceso de enseñanza-aprendizaje.

Por otro lado, este proyecto supone reconocer en la investigación y en la extensión un carácter formativo ligado al «hacer», al «ser» y al «estar», los que se entretajan en las configuraciones propias de las identidades profesionales. En efecto, estas prácticas de abordaje del objeto de estudio en el proceso de investigación se constituyen en una muy buena estrategia de aproximación progresiva al campo profesional, puesto que favorecen, al mismo tiempo, la integración y la consolidación de los saberes, la identificación de problemas de investigación emergentes y el contacto con diferentes actores y situaciones socioculturales y productivas relacionadas con un posible desempeño profesional. Sin embargo, este potencial es sistemáticamente soslayado incluso por aquellos y aquellas que practican la extensión con disfrute y compromiso.

### **Estrategias metodológicas**

Se incorporaron al trabajo de investigación cuatro (4) estudiantes de la Licenciatura en Cooperativismo y Mutualismo correspondiente a la sede de la provincia de Jujuy donde asisten estudiantes con domicilio y residencia en las provincias de Salta y Jujuy.

Este informe da cuenta del trabajo ejecutado en el primer año y revela intrínsecamente los contrastes, miradas y divergencias que se generaron en la fase de hipótesis de trabajo, formulaciones conceptuales, metodologías, adaptaciones y selección de instrumentos.

El propósito fue no solo visibilizar las experiencias de lo definido como organizaciones de la economía social y solidaria (de aquí en adelante ESyS), sino relevar los actores sociales involucrados en las organizaciones de la ESyS de las provincias de Salta y Jujuy, identificando ámbitos territoriales de actuación, modalidades organizativas de gestión, tipos y dimensiones de actividades de emprendimientos.

Otro procedimiento previo al interior del equipo de investigación fue la decisión de definiciones y la delimitación de los criterios que identifiquen a las organizaciones ESyS, debido a las características de complejidad y de diversidad del universo.

En lo conceptual -al tratarse de un término en disputa, en formación y con diferentes miradas-, se arribó al consenso de que se otorgaran atributos o condiciones necesarias para contextualizarlas y considerarlas como parte de ESyS, organizando dichos atributos a partir de cuatro interrogantes básicos: *¿Quiénes son?*, *¿qué hacen?*, *¿cómo lo hacen?* y *¿con qué sentido lo hacen?*

*¿Quiénes son?* Son organizaciones con miembros asociados (no de individuos asilados) en formas asociativas colectivas y asociativas de variadas formas jurídicas, o sin formas jurídicas instituidas, producto de la voluntad de sus miembros.

*¿Qué hacen?* Realizan actividades socioeconómicas diversas con la finalidad de resolver necesidades, creando bienes, servicios, productos, etc.

*¿Cómo lo hacen?* Ejecutan las actividades bajo formas organizativas de trabajo asociativo, entre propietarios y no propietarios, de responsabilidad compartida, de autogestión, redistribución interna de ingresos y excedentes, toma de decisiones y en la propiedad.

*¿Para qué lo hacen?* El objetivo es la mejora de las condiciones que hacen a la calidad de vida de las personas; además, apuntan a ampliar beneficios con una visión en conjunto del grupo humano.



La unidad de análisis del relevamiento fue definida entonces en términos de los siguientes atributos:

Organizaciones colectivas, cuyos participantes ejercen la autogestión de las actividades y de la distribución de sus resultados. De carácter permanente, formales o informales. Que realizan actividades económicas de producción de bienes, prestación de servicios, de comercialización y de consumo. Pueden tener carácter singular o complejo, como organizaciones de segundo grado.

Simultáneamente, con el objetivo de dar un marco comprensivo y lo más representativo posible de las experiencias existentes, se definió otro atributo para organizaciones y relaciones de la sociedad civil que, sin realizar actividades económicas, sí reflejan acciones y programas de asistencia, reciprocidad y solidaridad, sin ánimo de lucro, al entender que las mismas constituyen bases reales de estar y desempeñar un rol en la ESyS.

En lo metodológico, se planteó desde el inicio una modalidad de trabajo de campo, flexible, incluso en las definiciones, las precisiones y las particularidades de los instrumentos de relevamiento.

En ese sentido, el diseño de actividades y acciones concretas también fue establecido como no directivo, de forma que las mismas se fueran definiendo en la dinámica que surgía en la entrada al campo de estudio.

En lo que respecta a las particularidades del instrumento, se propuso una estructura medular, de acuerdo con los aspectos comunes a identificar y la descripción del conjunto de actividades y de emprendimientos se basaron en interrogantes específicos según sea la actividad económica, productiva o de servicios, al identificarse el emprendimiento.

Se diseñaron entrevistas que combinan tanto preguntas cerradas como abiertas, de tal modo, que los indicadores construidos tuvieran base en aspectos comunes a conocer y com-

parar, y también pudieran existir otros tendientes a identificar diferencias y particularidades en escenarios reales y situados.

Los aprendizajes en este avance del trabajo del equipo fueron el de adaptación al lenguaje y términos adecuados para una mejor comunicación; la propuesta de aplicar una prueba piloto para detectar problemas operativos y la interrelación entre todos los investigadores, docentes y estudiantes, con un enfoque pedagógico significativo y situado.

Con respecto a las dificultades y modificaciones a la planificación original, estas tuvieron lugar por la amplitud del campo, alcance y complejidad, como a las propias dinámicas cambiantes de las organizaciones y, consecuentemente, los tiempos que insumiera la capacitación previa de los censistas en talleres a tales efectos.

## Estado del arte

El análisis del estado del arte y de los diferentes enfoques y perspectivas que conviven en torno a la economía social, solidaria, popular y del trabajo es determinante para el trabajo de investigación, consistente en el relevamiento y la sistematización de las múltiples, heterogéneas y diversas formas de organizaciones presentes.

La noción de ESyS ha cambiado a lo largo de los años, y en la actualidad coexisten diferentes enfoques con ideas heterogéneas sobre su significado y alcance, influidos por el contexto social, económico, político y cultural en el que se desenvuelven.

En América Latina, el debate actual en torno a la ESyS puede ser comprendido a partir de dos vertientes: la de la *"economía solidaria"* y *"la economía del trabajo"*. Estos dos enfoques proponen prácticas y principios de organización económica coherentes con diferentes propuestas societales actualmente en debate en la región.

La economía solidaria es definida como un modo de producción y distribución a través de organizaciones de productores y/o consumidores que promueven la solidaridad entre sus miembros a través de la libre asociación, el trabajo cooperativo y la autogestión democrática. Es una alternativa económica impulsada especialmente por quienes se encuentran -real o potencialmente- marginados del mercado de trabajo.

Su unidad ideal es la forma cooperativa de trabajo, caracterizada por la autogestión, la propiedad colectiva de los medios de producción y la distribución de excedentes según criterios que priorizan el trabajo; sin embargo, también la integran asociaciones de emprendedores, clubes de trueque y cooperativas de consumidores.

La economía del trabajo es una propuesta de largo plazo dirigida a instalar "un subsistema económico orgánicamente articulado, centrado en el trabajo, con una lógica propia, diferenciado y contrapuesto a la economía del capital, y a la economía pública" (Coraggio, 2007)

Desde esta óptica, la economía popular y la economía del trabajo, en particular, abarcan toda forma de organización que tenga como principal objetivo redes de cooperación formal e informal, agrupamientos voluntarios, y organizaciones de producción, distribución y relación con el mercado.

Siguiendo los aportes de Coraggio se propone entender lo siguiente:

Economía [es el] sistema de instituciones, valores y prácticas que se dan en una sociedad para organizar la producción, distribución, circulación y consumo de bienes y servicios de modo de satisfacer de la mejor manera posibles las necesidades y deseos legítimos de todos sus miembros. (2007)

Dentro de este marco conceptual, el término economía

social y solidaria puede tener dos significados principales y complementarios Coraggio, (2008) "es un sistema económico cuyo funcionamiento asegura la base material integrada a una sociedad justa y equilibrada" ,o, "es un proyecto de acción colectiva (incluyendo prácticas estratégicas de transformación y cotidianas de reproducción dirigido a contrarrestar las tendencias socialmente negativas del sistema existente, con la perspectiva –actual o potencial– de construir un sistema económico alternativo que responda al principio ético ya enunciado". (Puig, Coraggio y otros, 2016:25,26)

Refiriéndose a la economía popular, Coraggio en Puig (2016) señala: *"En su alcance más amplio, la EP es la economía de los trabajadores, sus familias y comunidades primarias (...). Su lógica no es la de la acumulación sin límites sino la de obtención de medios para la reproducción de sus vidas en las mejores condiciones posibles. Esto se diferencia en varios aspectos de la caracterización como "sector informal", basada en la comparación con el sector "formal" orientada por el tipo ideal de las empresas capitalistas (centrada en las actividades mercantiles de la EP, y caracterizándolas como empresas ineficientes).* (Puig, Coraggio y otros, 2016:27)

Para otros autores, se trata de una propuesta de construcción de una economía alternativa. En ese sentido, Souza Santos y César Rodríguez (2002) señalan los aspectos que se rechazan de una economía capitalista, principalmente, *la desigualdad estructural de recursos; una sociabilidad empobrecida, con relaciones sociales estructuradas a partir de la competencia y el interés individual, como la insustentabilidad de la producción;* la alternativa propuesta sería reconocer estos aspectos como construcciones sociales susceptibles de ser modificadas.

Desde esta perspectiva, como una propuesta de economía alternativa apuntan a una transformación gradual de la producción y de la sociabilidad hacia formas más igualitarias, solidarias y sustentables.

La delimitación conceptual más reciente fue realizada en el año 2002, en la Carta de Principios de la Economía Social, promovida por la Conferencia Europea Permanente de Cooperativas, Mutualidades, Asociaciones y Fundaciones, según indican Pérez de Mendiguren y col. (2008), quienes reseñan los siguientes principios:

- Primacía de la persona y del objeto social sobre el capital.
- Adhesión voluntaria y abierta.
- Control democrático por sus miembros (excepto para las fundaciones que no tienen socios).
- Conjunción de los intereses de los miembros usuarios y del interés general.
- Defensa y aplicación de los principios de solidaridad y responsabilidad.
- Autonomía de gestión e independencia respecto de los poderes públicos.
- Destino de la mayoría de los excedentes a la consecución de objetivos a favor del desarrollo sostenible, del interés de los servicios a los miembros y del interés general.

La definición propuesta por CIRIEC-Internacional, y que presenta mayor aval institucional, es la que ha sido aceptada por el Consejo Económico y Social Europeo (CESE), a raíz de una investigación desarrollada por Chávez y Monzón (2006), acerca de la Economía Social en la UE a pedido del propio CESE. De ese trabajo, se extrae la siguiente definición:

Conjunto de empresas privadas organizadas formalmente, con autonomía de decisión y libertad de adhesión, creadas para satisfacer las necesidades de sus socios a través del mercado, produciendo bienes y servicios, asegurando o financiando y en las que la eventual distribución entre los socios de beneficios o excedentes, así como la toma de decisiones, no están ligados directamente con el capital o cotizaciones aportados por cada so-

cio, correspondiendo un voto a cada uno de ellos. La Economía Social también agrupa a aquellas entidades privadas organizadas formalmente con autonomía de decisión y libertad de adhesión que producen servicios de no mercado a favor de las familias, cuyos excedentes, si los hubiera, no pueden ser apropiados por los agentes económicos que las crean, controlan o financian. (Chávez y Monzón, 2008)

### **Principales contribuciones de otros al problema o interrogante**

Desde el punto de vista de la conceptualización teórica de la economía solidaria, la mayoría de los autores (Chávez y Monzón, 2006; Guerra, 2004, Coraggio, 2004) coinciden en la distinción de dos enfoques: el europeo y el latinoamericano, este último desarrollado principalmente en Chile, con el impulso de Razeto, en Argentina y en Brasil.

Para Razeto (1984), la economía solidaria se caracteriza por una orientación fuertemente crítica y transformadora de las grandes estructuras y los modos de organización y acción que caracterizan a la economía contemporánea.

En Argentina, Coraggio (2007) destaca la posibilidad de otras alternativas económicas, entre ellas la ESyS, que desde el enfoque del autor asume el principio de reproducción y desarrollo de la vida de todas las personas y de la naturaleza (o reproducción ampliada de la vida, como principio ordenador de teorías institucionalizadas y prácticas económicas públicas, colectivas o individuales).

Es en la experiencia brasileña donde se encuentran las posturas más radicales y el discurso marcadamente político, señala Guerra (2004). Según palabras de este autor:

Más allá de las diferentes posturas entre autores, lo que los une a cada una de ellas es la lectura especialmente crítica que hacen

de las estructuras económicas contemporáneas, y el rescate de la autogestión y el asociacionismo en las clases populares [...]. Claramente, sus defensores ubican esta corriente y sus experiencias como contra referentes al neoliberalismo, e incluso al capitalismo.

En Argentina, Carello (1986) cita como antecedentes inmediatos la conformación del "área de economía social", integrada por las empresas que constituyen "formas de propiedad social constituidas con fines de servicio y no de lucro" en el Congreso Argentino de la Cooperación de 1983, de reuniones oficiales entre el Consejo Intercooperativo argentino y la Confederación Argentina de Mutualidades, sobre problemas de interés común.

Las aproximaciones teóricas respecto al objeto de estudio de esta investigación se relacionan en forma directa con el consenso e identificación de un espacio extendido "como economía solidaria" (Raeto, 1984 ; Gaiger, 2007; Arruda, 2010); "economía social" (Monzón y Defourny, 1992; "socio economía solidaria" (Guerra, 2004).

Para Pastore y Altschuler (2015)

La economía social y solidaria constituye un campo multidimensional (económico, cultural y sociopolítico) de interacción y organización humana en torno a la reproducción de la vida, atravesando por diversas fuerzas y relaciones de poder, internas y externas a la constitución de las mismas.

En ese marco, dan cuenta de un "campo dinámico" de significaciones y "acciones sociales" en plena construcción, con al menos tres dimensiones interrelacionadas: a) trayectorias empíricas; b) dimensión simbólica y cultural y c) una dimensión política organizativa de otras formas de hacer economía. Las

identifican en trayectorias socio organizativas diferentes a la empresa lucrativa y, de manera más restringida, en iniciativas reales, visibles, que además de tener actividades económicas llevan adelante acciones propositivas de transformación social.

García Delgado (2004) advierte la presencia de formas organizativas, institucionalizadas, "fundacionales" y las más recientes como pertenecientes a la economía social, que incluyen formas de asociaciones entre productores de la economía popular, asociaciones de la Agricultura Familiar, campesinado, de ferias francas y mercados de comercialización, de empresas sociales o comunitarias de inserción social, reciclado, hábitat, etc.

En relación con la "dimensión simbólica y cultural", de principios y valores, es abordada por Coraggio (2009) como "una perspectiva sustantiva" que opera como "un sistema de instituciones, valores y prácticas que se da en una sociedad para definir, movilizar, distribuir y organizar capacidades y recursos a fin de resolver de la mejor manera posible las necesidades y deseos legítimos de todos sus miembros".

Caillé (1996) distingue dos espacios de relaciones sociales: el de la sociabilidad secundaria vinculada con el Estado, el mercado y la ciencia, y el de la sociabilidad primaria, que por debajo de aquella se caracteriza por relaciones cercanas, vinculadas al paradigma de "dar, recibir y devolver" reelaborando y retomando los aportes de Mauss Marcel acerca del don.

Marañón Pimentel (2017) sobre la solidaridad económica, el Buen Vivir, propone "una reorganización de la vida social a partir de la racionalidad, reciprocidad y complementariedad, entre los humanos y con la Madre Tierra, en abierta crítica al progreso-desarrollo".

*Racionalidad liberadora y solidaria en la que sí se consideran los aspectos éticos e importa el sentido de los fines.* Racionalidad liberadora presente en organizaciones con un espacio físico y subjetivo en el que tienen lugar esas prácticas asocia-



das con un nuevo horizonte histórico de sentido, el Buen Vivir.

*Reciprocidad* entendida como una relación social que integra tres momentos: *dar, recibir y devolver*. Se reproducen valores, como la amistad y la confianza, de pertenencia a una comunidad.

Las prácticas de solidaridad económica orientadas al Buen Vivir contemplan el autogobierno, a partir de decisiones de manera directa en discusiones asamblearias, rotación de cargos y revocación de mandatos.

Por su parte, Quijano Valencia (2012) incluye el concepto de “ecosimias, con un sentido positivo, en contraposición a lo negativo de la economía dominante”, al rescatar diversas iniciativas que conforman un horizonte plural: economías comunitarias, andinas, de la reciprocidad, étnicas, de y para la vida, propias, de cuidado, feministas, populares, con lo cual da cuenta de la heterogeneidad, de la diferencia económico/cultural.

Si se aborda la dimensión política organizativa, está presente la mirada de los proyectos de sociedad allí reflejados. Podemos resumirlas, por un lado, en las lógicas económicas tradicionales con un funcionamiento dominante economicista y, por el otro, en las que propugnan la descolonización y transformación, profundizando la solidaridad. Quijano Valencia (2012) señala que las iniciativas inscriptas en el horizonte del posdesarrollo “están dirigidas al reconocimiento, potenciación y el desarrollo de un horizonte plural a favor de la producción, reproducción y desenvolvimiento de la vida”.

## **Avances en el proceso de investigación**

Este informe da cuenta del trabajo ejecutado en el primer año, en el que se hizo foco en las provincias de Salta y Jujuy. Se tomaron como punto de partida los últimos datos estadísticos provistos por el Instituto Nacional de Asociativismo y Econo-

mía Social (INAES) en lo que respecta a la Actualización Nacional de datos de Cooperativas y Mutuales, información relevada en junio del 2019.

Los datos relevados dan cuenta de que, para la provincia de Jujuy, el número de cooperativas asciende a 330 con un total de 31.651 asociados. Las cifras para mutuales registran un total de 38 entidades mutualistas y el número de personas vinculadas a este tipo de organizaciones es de 16.461 asociados.

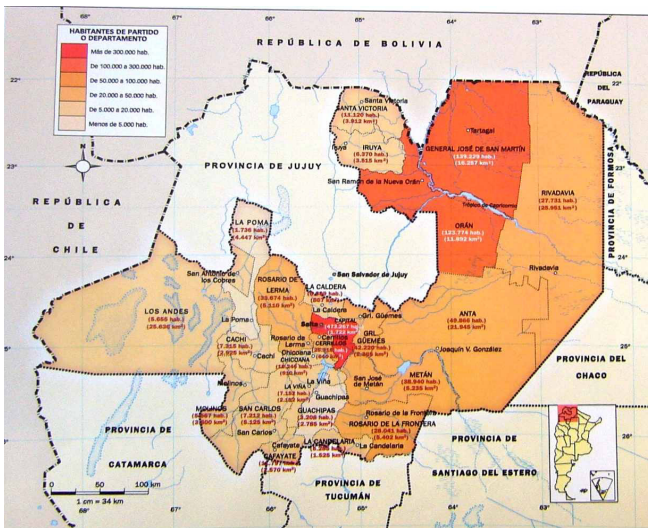


Figura 1. Mapa de Localización Organizaciones de la Economía Social y Solidaria

Para la provincia de Salta, el relevamiento da cuenta de que el número de cooperativas asciende a 259 con un total de 14.142 asociados. Para las mutuales se registran un total de 34 entidades mutualistas y el número de personas vinculadas asciende a 15.846 asociados.

Según el INAES, se registran en la región NOA 1342 cooperativas y mutuales, con un total de asociados de 509.888, de

las cuales Jujuy representa el 27,4% de las entidades de la región. En lo que respecta al porcentaje de asociados en el NOA, la provincia tiene un 9,4%.

En la provincia de Salta, según el INAES los porcentajes son sustancialmente menores, ya que el total de 293 cooperativas y mutuales representa el 21,8% de las entidades de la región. Sobre la cantidad de personas vinculadas a la economía en el NOA, la provincia solo tiene el 5,8%.

El propósito fue no solo visibilizar las experiencias de lo que se definió como organizaciones de la ESyS, sino hacer un relevamiento de los actores sociales involucrados en las organizaciones de la ESyS de las provincias de Salta y Jujuy, identificando ámbitos territoriales de actuación; modalidades organizativas de gestión, tipos y dimensiones de actividades de emprendimientos.

Otro procedimiento previo al interior del equipo de investigación fue la decisión de definiciones y delimitación de los criterios que identifiquen a las organizaciones ESS, dadas la complejidad y diversidad del universo.

Cabe destacar que el trabajo se encuentra en pleno desarrollo, paralelamente al análisis de datos del INAES que nos describe globalmente el panorama del cooperativismo y el mutualismo en las provincias que son objeto del estudio. Se trabajó en el relevamiento de las empresas sociales que hayan cumplido la registración provincial en la Dirección General de Economía Social, en razón de haber tomado conocimiento de que la provincia de Salta sancionó la Ley N° 8072 de Aprobación de la Reglamentación del Sistema de Contrataciones Públicas.

A partir de esta normativa, la provincia formaliza como una política pública el otorgamiento de hasta un 30% de las obras públicas proyectadas desde el Estado Provincial, a las empresas sociales que cumplan las obligaciones dispuestas en la reglamentación, lo cual les permite presentarse en las licitaciones públicas convocadas.

La Ley dispone el Registro Provincial de Empresas Sociales estableciendo que funcionará en ámbitos de la Secretaría de Economía Social y Empleo dependiente del Ministerio del Trabajo.

El equipo de investigación, a partir de tomar conocimiento de que en la provincia de Salta se había implementado esta estrategia gubernamental de fomento a las organizaciones de la economía social, y en particular como una forma de posibilitar la inclusión al mundo del trabajo, procedió al análisis documental. En ese sentido el texto legal consagra textualmente:

La ley de la provincia de Salta N<sup>o</sup> 8072, entiende como empresas sociales, a aquellas que, teniendo por objeto la producción de bienes y/o la prestación de servicios, se conforma a través de una determinada forma jurídica asociativa prevista en las leyes vigentes, y en la cual sus miembros tienen una participación social e igualitaria, adoptando las decisiones empresariales democráticamente y priorizando, en los procesos productivos, el empleo de mayor cantidad de mano de obra.

Hasta el momento se relevaron datos parciales pertenecientes al registro de la Dirección General de Economía Social del Gobierno de la provincia de Salta. En total suman 58 registradas entre los años 2018 y 2019.

En cuanto a las organizaciones, se puede discriminar que en el período analizado se registraron 53 cooperativas y 5 fundaciones y asociaciones, es decir, el 91% de las empresas sociales registradas son mayoritariamente cooperativas de trabajo, mantenimiento de espacios públicos, de construcción, textiles, etc.

Asimismo, cabe destacar que por cercanía la mayoría se ubican en barrios de la ciudad capital de Salta, aproximadamente el 81%, mientras que el 19% restante son del interior de la provincia. También se destaca en el análisis de datos el género

en la conducción y liderazgo de las empresas sociales: el 22% tienen como presidenta a mujeres administrando cooperativas de trabajo de construcción, textiles, diseños, fundaciones para el desarrollo, defensa comunitaria y también de asociaciones de jubilados y trabajadores de la provincia de Salta.

	Objeto social	Cantidad	%
1	Reparación y mantenimiento de obra pública y privada – carpintería, electricidad y mantenimiento de espacios verdes.	14	24
2	Construcción, reforma, reparación de edificios no residenciales.	23	40
3	Confección textil, industrial / artesanal	2	3
4	Jardinería y mantenimiento de espacios verdes / albañilería y pintura.	3	5
5	Construcción de viviendas colectivas y unidades complementarias, viviendas individuales.	9	16
6	Mejoramiento de los métodos de trabajo y adelantos técnicos de los medios de producción.	5	9
7	Construcción de obras públicas y privadas/ carpintería metálica, plástica y de madera, plomería, electricidad, gasífera.	2	3
	Total	58	100%

Tabla 1. Empresas Sociales, Según categorías por objeto social en % (2018 – 2019)

Fuente: Elaboración propia

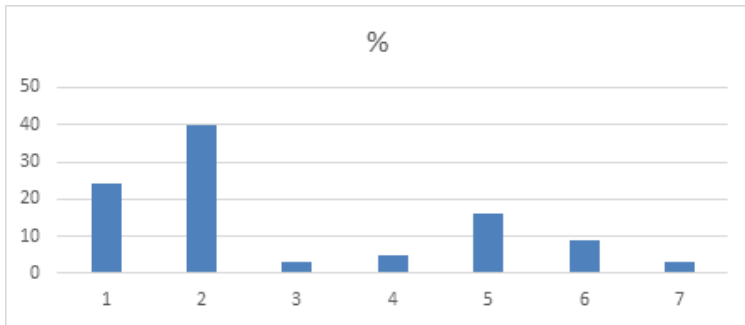


Figura 2. Empresas sociales salteñas registradas según categorías en porcentajes (Elaboración propia).

Para complementar la información cuantitativa, en este momento nos encontramos en el proceso de mapeo de las organizaciones de la economía social y solidaria a los fines de la realización de entrevistas a dirigentes de cooperativas, mutuales y otros emprendimientos asociativos. El criterio para la selección de las organizaciones será tomar dos clases: 1) aquellas constituidas en el marco de los programas sociales aplicados en la provincia de Salta, a las que denominamos Organizaciones de la Economía Social Bajo Programa (Org de la ESS-BP) y 2) las constituidas por solicitud, gestión y voluntad de los asociados, denominadas simplemente Organizaciones Tradicionales (Org. de la ESS-T).

En ambos casos, es decir, en las Org. de la ESS-BP y en Org. de la ESS-T se seleccionarán organizaciones de las provincias de Salta y de Jujuy, tanto de zonas urbanas como rurales.

### Cooperativa Forestal San Carlos (provincia de Salta)

Esta cooperativa se ubica en la localidad de San Carlos, cabecera del departamento San Carlos, en la provincia de Salta. Es

un pueblo histórico en los Valles Calchaquíes, sobre ruta nacional 40. Su actividad principal es la producción de pimiento para pimentón seco.

La cooperativa surge en tiempos de crisis en 1998 con la unión de 10 productores; desde ese momento empezaron a ser una cooperativa de hecho, pero obtienen su personería jurídica 10 años después, es decir, en el año 2008.

La producción de pimientos es una práctica ancestral, transmitida de generación en generación en los Valles Calchaquíes, Los productores recibieron una capacitación del Programa Social Agropecuario, dependiente del Ministerio de Agricultura de la Nación, a partir de las que se incorporan tecnologías para la producción y fraccionamiento del pimentón.

El diario digital La Hora, de la provincia de Salta, con fecha 21 de marzo de 2016, publicaba la noticia con el siguiente titular: "Primera Feria de Pequeños Productores de Quebrada del Toro y la Cooperativa Agropecuaria Tatahuaso". En esta publicación se promocionaba ese evento desarrollado en la Ruta 51 km 12 de la localidad de la Silleta, con el objetivo de revalorizar la cultura alimentaria de la región y generar puntos de comercialización de diversos alimentos nativos. El objetivo fue dar a conocer las costumbres originarias de la región para recuperar saberes ancestrales, transmitir culturas alimentarias, bebidas, comidas y los alimentos producidos en la región: "quinua, amaranto, chí, yacón, maíces, papas, kaniwa", señaló Dalmacio Sandoval, miembro de la Cooperativa Agropecuaria Tatahuaso y uno de los organizadores de la feria, quien además destacó que "los saberes ancestrales deben ser reconocidos y es una vergüenza ignorarlos" (*La Hora*, 21 de marzo de 2016).

#### *Origen del amaranto.*

Este grano se encuentra junto con el maíz, entre los cultivos más antiguos de América aproximadamente 7000 años de an-

tigüedad, culturas como los Mayas y los Aztecas lo utilizaron al igual que los Incas, estas civilizaciones seleccionaron los granos mejorando sus cualidades logrando uno de los alimentos básicos, con la llegada de los españoles este cultivo se extingue porque los invasores en su ignorancia prohibieron que el amaranto fuera una planta sagrada y que sus granos fueran utilizados en sus ofrendas rituales, destruyeron las siembras y quemaron sus cosechas, los nativos que se resistieron al español conservaron su cultura alimentaria hasta nuestra actualidad en que volvemos a redescubrirlos para el bien de nuestra salud.

### **Cooperativa Vitivinícola Santo Domingo (Provincia de Jujuy)**

En la provincia de Jujuy, la localidad de Perico es considerada como la cuna del cooperativismo jujeño. En 1922, los agricultores Manuel Ríos y Tomas Arias, luego de un censo casero y al considerar la gran cantidad de hectáreas dedicadas al cultivo de la vid, en fincas de El Chamical, de Serapio Pinto, San Vicente, Monte Rico y Santo Domingo, constituyeron un volumen de producción que los llevó a la decisión de unirse, junto a otros productores, para constituir una cooperativa, para una mejor explotación de la producción de la vid y comercialización. Así se constituía la primera cooperativa vitivinícola conformada por 53 pequeñas fincas, las cuales elaboraron hasta 2.000.000 de litros de vino genuino. Este hecho dio origen a la Cooperativa Vitivinícola Santo Domingo.

Esta asociación se organizó bajo la presidencia del profesor Filiberto Carrizo. Esta cooperativa contaba con destilerías de alcoholes, una usina y galpones, como toda la infraestructura necesaria para llevar adelante la explotación del cultivo. Por presiones políticas de los gobiernos de Mendoza y de San Juan, productores de reconocido monopolio, se desincentivó al gobierno de Jujuy para que dejara desprotegida la actividad.



Los productores del sur desacreditaron la calidad del vino y se valieron de todo tipo de argucias para hacer desaparecer la actividad, la cual generaba una apreciable renta a muchas familias y una importante mano de obra, que involucraba a propietarios, cosecheros, repartidores, etc. Dicha cooperativa se declaró en quiebra y sus bienes fueron rematados en subasta pública el 28 de setiembre de 1943.

### **Cooperativa de tabacaleros de Jujuy Limitada**

En asamblea reunida el 9 de febrero de 1969 en Monterrico, departamento El Carmen, quedó constituida la Corporación de Productores Tabacaleros de Jujuy Cooperativa Limitada.

Según sus estatutos, la sociedad nació con los objetivos esenciales de comercializar, industrializar y financiar la producción agropecuaria del tabaco, proveer a sus asociados de productos, instrumentos, máquinas y todo implemento necesario para sus explotaciones, establecer fábricas, estimular el consumo, arrendar campos y formar entidades financieras, todo en beneficio de los socios.

Jujuy se inició en la producción de tabacos en la década de 1940 con una escasa producción. Hacia 1941 y 1942, se producían 52000 kilos de tabaco Virginia (resultantes de una superficie de 100 hectáreas).

La situación que vivían los primeros productores tabacaleros se enfrentaba al monopolio de la compra del tabaco, concentrado en manos extranjeras, que imponía un ritmo de compra y precios que perjudicaban al productor. Son conocidos los relatos referidos a las largas colas y esperas a la intemperie, en la vecina ciudad de Salta, para la entrega de tabaco, la que estaba regida por una total incertidumbre, ya que, si las estimaciones de cosecha eran buenas y prometían un excedente, "la mano era dura" en la compra; si las condiciones eran inversas,

mejoraban los ingresos para el productor.

Esta inequidad se vio amenazada con la creación de las instituciones tabacaleras. La Cámara del Tabaco de Jujuy quedó constituida en 1967. Uno de sus principales objetivos fue la consolidación de galpones técnicos, cuya localización y definición llevó a un proceso de discusión y debate, hasta que, finalmente, se decidió que se construyeran en la ciudad de Perico.

El motivo de esta decisión se basó en que se contaba con una buena infraestructura de servicios, basada en el ferrocarril, en su ubicación geográfica, puesto que la ciudad estaba ubicada en el área central del cultivo y, principalmente, por contar con el servicio telefónico, requisito indispensable para la evolución comercial, desarrollado por otra cooperativa, fundada con unos pocos años de antelación a la de tabaco: la Cooperativa Telefónica de Perico.

Después de realizar los correspondientes estudios de factibilidad, los que implicaban la proyección de futuro para un proyecto de tal envergadura, se dispuso la adquisición de dos hectáreas de la Finca "El Pongo" de propiedad del Dr. Plinio Zabala, quien de las dos hectáreas adquiridas cobró una sola mientras que a la otra la entregó en donación.

La Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy Limitada inició sus actividades en la cosecha 1969/1970, con un acopio que apenas llegaba al 10% de la producción de Jujuy y con instalaciones que solo cubrían 10.500m<sup>2</sup>.

La creación de la Cooperativa de Tabacaleros de Jujuy permitiría regularizar el acopio, poder afrontar los excedentes y, principalmente, unir a los productores para poder posicionarse más convenientemente en el mercado monopólico internacional de esos tiempos.

Una de las primeras cuestiones tratadas fue el cambio de denominación de la institución, pues Corporación de Productores Tabacaleros de Jujuy Cooperativa Limitada, su nombre

original, englobaba dos formas organizacionales diferentes: la corporación y la cooperativa; se decidió, finalmente, adoptar esta última. Para el año 1970, la cooperativa logró completar su organigrama ejecutivo y técnico, y dio por terminado su proceso de organización.

## Reflexiones finales

La investigación aún no ha concluido: el propósito es avanzar en el relevamiento de las entidades, organizaciones y movimientos organizados hacia otra economía, o bien, de economías alternativas. Lo que es evidente es que estamos ante un objeto de estudio diverso en cuanto al desarrollo de producciones locales con origen en manifestaciones productivas de bienes y servicios que echan sus raíces en la cultura ancestral; entre ellas cabe mencionar las cooperativas de trabajadores de productos andinos como el pimiento, la papa, la quínoa, entre otros y la producción de textiles, la producción de tabaco.

Asimismo, se plantean como actividades pendientes el relevamiento de datos de otras formas jurídicas (asociaciones civiles, de fomento, comunales, de trabajadores, oficios y/o actividades de promoción humana), fundaciones, ONG y otras, registradas en la Dirección General de Personas Jurídicas, a los fines de sistematizar aquellas organizaciones que reafirman la vigencia del asociativismo y la cooperación, con prácticas sociopolíticas que fortalecen la participación democrática en la gestión, en la acción solidaria tanto en el ámbito interno como en el comunitario.

La dimensión política se evidencia a partir de la presencia en estas asociaciones de actuaciones con valores de la solidaridad y cooperación, en tanto dispositivos que promueven y crean un capital social, consolidando las bases de la gestión desde una perspectiva humana. Las diversidades de trayec-

torias socioeconómicas diferenciadas comparten como lazo común formas organizacionales asociativas y democráticas vinculadas a la participación voluntaria, con autonomía en las decisiones y estructuradas por y para privilegiar a las personas y a una mejor calidad de vida.

## Bibliografía

- 1er Feria de Pequeños Productores de Quebrada del Toro y la Cooperativa Agropecuaria Tatahuaso (21 de marzo de 2016). *La hora de Salta*.
- Alburquerque, Francisco. (2005). "La economía social y la integración regional: una mirada desde el enfoque de desarrollo local" en *Seminario El desarrollo local y la economía social desde la perspectiva de la integración regional*. Ministerio de Desarrollo Social.
- Amariles Cristina... [et al.]; editado por Coraggio José Luis. "Miradas sobre la economía social y solidaria en América Latina / - 1a ed . - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : CLACSO ; Los Polvorines : Universidad Nacional de General Sarmiento, 2021. Libro digital, PDF Archivo Digital:
- Arroyo, Daniel. (2004). *Desarrollo Local en la Argentina contemporánea*. FLACSO Documento de Trabajo.
- Arruda, Marcos (2010) Potencialidades de la Praxis de la Economía Solidaria PACS, Brasil1 Laboratorio Internacional
- Boisier, Sergio (1999). *Teorías y metáforas sobre el desarrollo territorial*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Caillé, Alain. (1996). "Salir de la economía". *Cuadernos de Trabajo Social*. (9), pp. 143-152. Edit. Universidad Complutense de Madrid.
- Carello, Luis. (1986). "Cooperativismo y Economía social". *Cuadernos de Cultura Cooperativa N°74*. Buenos Aires: Intercoop. Editora Cooperativa Ltda.
- Coraggio, José Luis (1998). *Economía popular urbana: una nueva perspectiva para el desarrollo local.*, Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento.
- Coraggio José Luis (2007) "Una perspectiva alternativa para la economía social: de la economía popular a la economía del trabajo" en José Luis Coraggio *La economía social desde la periferia. Contribuciones Latinoamericanas* (pp. 165-194). Buenos Aires: UNGF Altamira.
- Coraggio, José Luis (2008). *Economía social, acción pública y*

- política (Hay vida después del neoliberalismo (2da. Edición).* Buenos Aires: Ediciones CICCUS.
- Chávez Ávila, Rafael; Monzón, Campos, José Luis; Panorama de la investigación en Economía social Estudios de Economía Aplicada, vol. 26, núm. 1, diciembre, 2008, pp. 29-55 Asociación Internacional de Economía Aplicada Valladolid, España
- Defourny Jacques. et Monzón, José Luis. (1992): *Économie sociale (entre économie capitaliste et économiepublique). The third sector (cooperatives, mutual and nonprofit organizations)*, De Boeck Université-CIRIEC, Bruxelles
- García Delgado, Daniel. (2004). "Escenarios y estrategias de desarrollo local y economía social en Argentina". Primer Encuentro Foro Federal de Investigaciones y Docentes. Buenos Aires.
- Gaiger Luis(2007) Nouvelles formes de production no capitaliste au Brésil: sens et faisabilité». *Revue Tiers Monde*, 2007/2, 190 pp. 309-324.
- Grabois, Juan. (2013). "Capitalismo de exclusión, periferias y movimientos populares" en *Emergenza Esclusi. The Emergency of the Socially Excluded Pontifical Academy of Sciences, Scripta Varia*. (123), pp. 1-32.
- Guerra, P. (2004): "Economía de la Solidaridad. Una introducción a sus diversas manifestaciones teóricas". *Serie Cuadernos de Educación N°1*.
- Marañón Pimentel, Boris. (2017). "Notas sobre la solidaridad económica y la decolonialidad del poder". En Coraggio (Ed.) *Miradas sobre la economía social y solidaria en América Latina* (pp 245 – 280). Buenos Aires: Instituto de Altos Estudios Nacionales. Ediciones UNGS
- Pastore, Rodolfo y Altschuler, Bárbara (2015). "La Economía social y solidaria y los debates del desarrollo en clave territorial". *Revista Idelcoop*. (217), pp. 1-19.
- Puig, Carlos; Coraggio José Luis y otros (2016) "La Economía Social y Solidaria (ESS): Niveles y alcances de acción de sus actores." En *El papel de las universidades Economía Social y*

*Solidaria, conceptos, prácticas y políticas públicas.* Universidad del País Vasco

- Pérez De Mendiguren, Juan Carlos; [Etxezarreta Etxarri](#), Enekoitz y [Guridi Aldanondo](#), Luis (2008). "¿De qué hablamos cuando hablamos de Economía Social y Solidaria? Concepto y nociones afines". XI Jornadas de Economía Crítica. Bilbao
- Quijano Valencia, Olver.(2012). *Ecosimias: visiones y prácticas de diferencia económico cultural en contextos de multiplicidad*. Popayán: Editorial Universidad del Cauca Popayán.
- Razeto, Luis (1984) *Economía de Solidaridad y Mercado Democrático, voi. I y II, publicado por el Programa de Economía del Trabajo de la Academia de Humanismo Cristiano, Santiago*
- Santos, Boaventura De Souza y Rodríguez, César (2002). *Producir para vivir. Para ampliar o canone de producao*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira.

# ENFERMERÍA EN TIEMPOS DE COVID-19 EN SANTIAGO DEL ESTERO: UN RELATO BASADO EN EXPERIENCIAS, DURANTE EL PERIODO 2020

MARIANO CHÁVEZ<sup>1</sup>; MARÍA CÁCERES<sup>2</sup>; KARINA SAYAGO<sup>3</sup>;  
EDEL SOSA<sup>4</sup>; ROSA SOTOMAYOR<sup>5</sup>

## Resumen

La pandemia de COVID-19 ha provocado modificaciones en toda la sociedad, inclusive en el área de la enfermería. En su ejercicio profesional, el profesional de la enfermería enfrentó desafíos al estar en la primera línea de contención en la actividad asistencial, la gestión, la educación y la investigación. La situación de pandemia generó en el personal sanitario, en especial de enfermería, manifestaciones a nivel físico y psíquico,

1 Licenciado en Enfermería, docente, Director del proyecto, Facultad de Humanidades, Ciencias Sociales y de la Salud (UNSE)

2 Licenciada en Enfermería, docente de la Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud, (UNSE).

3 Licenciada en Enfermería, Coordinadora de Enfermería del Centro Provincial de Salud Infantil, de Santiago del Estero.

4 Licenciada en Enfermería, docente de la Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud, (UNSE).

5 Licenciada en Enfermería, docente de la Facultad de Humanidades Ciencias Sociales y de la Salud, (UNSE).



lo que provocó el debilitamiento de la salud del personal.

Estas secuelas provocadas por la pandemia se exteriorizan en cada personal de enfermería de manera distinta, con manifestaciones tales como ansiedad, angustia, temor a contagiarse, a la pérdida de la vida de sus pares y familiares, cansancio, estrés laboral, entre otros.

En Santiago del Estero, las situaciones vividas que atraviesan a los agentes de enfermería muy pocas veces son reveladas y publicadas; a pesar de ello, en esta pandemia se ha percibido que los medios de comunicación gráficos, la tv y las redes sociales propiciaron espacios para visibilizar y reconocer la importancia del rol de la enfermería, para que el personal exprese su voz, el sentir o las vivencias colectivas.

En este sentido, este equipo de docentes investigadores de la Universidad Nacional de Santiago del Estero estima importante explorar las vivencias y emociones que emergen en la enfermería santiagueña al brindar cuidado a personas afectadas por el COVID-19; esta propuesta servirá de base para futuros estudios en relación a esta problemática en la disciplina en la que se desempeña el personal de enfermería. Este trabajo se enmarca en el proyecto de investigación Significación y construcción de la Identidad profesional del Enfermero en Santiago del Estero, mediante una metodología que responde a una investigación cualitativa, de estudio retrospectivo, de tipo exploratorio, descriptivo y transversal, a partir de un muestreo intencional según criterios de selección.

Palabras claves: enfermería; vivencias; emociones, COVID-19; pandemia

## Abstract

The COVID-19 pandemic has caused changes in society, consequently in nursing. In her professional practice when providing care, she faced challenges as she was in the first line of containment in care, management, education and research; This situation generated physical and mental manifestations in health personnel, especially nursing personnel, which caused a weakening of the health of the personnel.

These sequelae caused by the pandemic are expressed in each nursing staff in a different way, with anxiety, anguish, fear of infection, the loss of the lives of their peers and relatives, fatigue, work stress ...

In Santiago del Estero, the situations experienced that affect the infirmary are rarely revealed and published; Despite this, in this pandemic it has been perceived that the graphic media, TV, and social networks provided spaces to make visible and recognize the importance of the nursing role, so that they express their voice, feelings or collective experiences.

In this sense, this team of research professors from the National University of Santiago del Estero, consider it important to explore the experiences and emotions that emerge in Santiago nursing when providing care to people affected by COVID-19; This proposal will serve as the basis for future studies in relation to this problem in the nursing discipline. "This work is part of the research project Significance and construction of the professional identity of the Nurse in Santiago del Estero", through a methodology that responds to qualitative research, retrospective study, exploratory, descriptive and cross-sectional, based on an intentional sampling according to selection criteria.

Keywords: nursing; experiences; emotions, covid 19; pandemic

## Introducción

La aparición, a finales de 2019 en Wuhan (China), del coronavirus 2 (SARS-CoV-2) que se propagó masivamente a todos los continentes, en un periodo de tiempo demasiado corto, con una rapidez vertiginosa, llevó a que la Organización Mundial de la Salud (OMS) lo declarara pandemia de emergencia en la Salud Pública en enero del 2020.

En este sentido, el mayor reto fue dar respuesta a esta pandemia debido al aumento acelerado en la demanda de atención de salud en todos los niveles asistenciales, con mayor énfasis en los servicios de cuidados intensivos.

Los sistemas de salud del mundo se vieron desbordados por esta demanda, en una situación que evidenció sus flaquezas y dejó al descubierto, especialmente, el déficit de profesionales de enfermería en el momento que debieron enfrentar la pandemia desde la primera línea de atención, y que son quienes tienen un rol crucial e imprescindible al dispensar cuidados de calidad.

Desde las autoridades sanitarias y gubernamentales se requiere un mayor esfuerzo para cubrir las necesidades de recursos humanos y materiales para poder salvar vidas, como contar con equipos de protección individual idóneos y suficientes, acciones de formación continua, condiciones laborales dignas, protocolos acordes a los estándares internacionales, conformación de equipos multidisciplinarios e interdisciplinarios, herramientas tecnológicas en el marco de telesalud, por mencionar los aspectos fundamentales. Asimismo, es crucial el desarrollo de políticas públicas que protejan y acompañen al personal de enfermería, desde un lugar activo como la creación de la Carrera Profesional en Enfermería que los incluya como tal, otorgando los beneficios y la cobertura respectivos, que promueva y apoye el proceso de formación, capacitación y actualización permanentes, y una adecuada remuneración,

dado que esto último evita la necesidad del doble o triple empleo de estos profesionales.

Por lo anteriormente mencionado, la enfermería santiaguense no está alejada de esta realidad mundial, ya que en nuestras instituciones de salud, y con el incremento de los casos positivos de este flagelo, el personal de enfermería desarrolló su función de brindar los cuidados a expensas del riesgo que representaba para su propia vida y la de su familia, a pesar de que en numerosos establecimientos sanitarios no se les proveía de los insumos necesarios para la atención de estos pacientes y cuyo costo era absorbido por el propio personal.

Este trabajo tiene por objetivo explorar las vivencias y las emociones del profesional de enfermería de la ciudad de Santiago del Estero, al ofrecer cuidados en tiempo de pandemia por COVID-19.

## Metodología

El estudio se enmarcó metodológicamente dentro de la investigación cualitativa, enfocada en el paradigma interpretativo, por ser el más apropiado y utilizado en el campo de la salud. La investigación se basó en entrevistas semiestructuradas, utilizando herramientas en el trabajo de campo como la grabación y transcripción de las vivencias; dichas entrevistas fueron realizadas a 10 profesionales de Enfermería que llevaron a cabo su actividad profesional en servicios de salud donde se atienden a personas afectadas por COVID-19; la selección se realizó mediante un muestreo intencional hasta alcanzar la saturación teórica.

Los datos fueron procesados en tablas de doble entrada para luego elaborar un informe interpretativo utilizando como recurso informático Microsoft Excel.

Para analizar la información y lograr la comprensión en

profundidad del fenómeno en estudio, se utilizaron las técnicas propias del método comparativo constante, con registros, comentarios y análisis para generar dialécticamente y en espiral el conocimiento, combinando el análisis con la obtención de la información.

## Desarrollo

Para iniciar este relato es necesario hacer referencia a lo expresado por Anabalón (2007) en relación al cuidar, ser cuidado y cuidarse, son acciones propias para la vida de las personas y sociedad, inherente a la supervivencia de todo ser vivo. Al cuidar se contribuye a originar y desarrollar aquello que hace vivir a la persona y comunidad, es así como cuidar representa un conjunto de actos para la vida, que tiene por objetivo hacer que ésta se mantenga, continúe y se desarrolle.

En lo cotidiano, al hacer mención al cuidado se entiende como algo simple, habitual, sencillo y elemental en la vida humana porque la familia cuida, los amigos cuidan y también lo hacen otras personas allegadas a la persona enferma; si embargo, cuando el proceso de la vida se ve amenazado por distintas noxas, se producen circunstancias en las que la persona, la familia y la comunidad necesitan de la intervención que brindan los agentes de enfermería, quienes son profesionales del cuidado porque están preparados desde los aspectos humano, técnico y científico para ofrecer una atención diferenciada.

En este sentido, es pertinente enfatizar que el área de la enfermería, al pertenecer e integrar el sistema de salud, participa activamente en diferentes niveles y roles, desarrollando y administrando su potencial en la gestión del cuidado mediante acciones de educación y orientación, implementación de prácticas de autocuidado y de comunicación asertiva dirigida a la persona, la familia y la comunidad.

Este nuevo contexto sanitario ha generado grandes cambios en todos los aspectos que componen una sociedad, esto es, en los ámbitos socioeconómico, cultural, familiar, laboral y social, y condujo a que se efectuaran numerosas modificaciones y se tomaran decisiones extremas a nivel gubernamental, para que de alguna manera se pudiera disminuir el avance del virus y limitar el daño en la salud de la población.

Esta problemática de salud nueva y desconocida puso en "jaque" a los investigadores mundiales que tuvieron que estudiar al virus del SARS-CoV-2 en tiempo record, para entender medianamente cómo funcionaba su mecanismo de acción y sus efectos en el ser humano.

En condiciones de incertidumbre y de desconocimiento para implementar las medidas de protección, los profesionales de enfermería, al ejercer su praxis durante la atención a los pacientes infectados y estar sometidos a la constante demanda en aquellos servicios de internación de pacientes en estado crítico, vieron cómo se iba minando su resistencia física como así también su salud mental, que en muchos casos no fueron consideradas por las autoridades sanitarias locales.

La OMS eligió el 2020 como el año internacional de la enfermería, con la campaña Nursing Now, bajo el lema "Donde hay vida, hay enfermería", que busca el respeto, la valorización y el reconocimiento de los aportes de la profesión a la salud de toda la humanidad. Sin embargo, estos profesionales todavía necesitan apoyo, protección y adecuadas condiciones de trabajo, los cuales se constituyen en estímulos para lograr mantener la salud mental en medio de las emociones, de la aflicción, las contingencias y el agotamiento.

En consecuencia, desde el Departamento de Salud Mental y Uso de Sustancias, la OMS elaboró mensajes dirigidos a diferentes grupos claves para apoyar el bienestar psicosocial y la salud mental durante el brote de COVID-19 (OMS, 2020).

El/la enfermero/a, en su relación con el entorno, puede ex-

perimentar problemas de salud que parten de su propia práctica inherente a toda profesión de atención permanente, caracterizada por contacto intensivo, estrecho e irremplazable por otro agente de salud, porque sus cuidados resuelven la contingencia. La atención que brinda va desde la práctica sencilla hasta la técnica más sofisticada, por la cercanía al dolor y a la muerte; esta es una profesión con alta emotividad y de índole ansiógena. Por todo esto, se la considera una profesión de riesgo que ha requerido de la adaptación a nuevas estructuras y estrategias del sistema sanitario durante la pandemia.

Desde la mirada de la enfermería, la bibliografía analizada identifica necesidades básicas que forman parte de la dimensión psicológica del ser humano y que Virginia Henderson (¿año?) agrupó de esta manera por ser significativas para la salud mental; en ellas radica la importancia de tener seguridad emocional para mantener un equilibrio psicológico y se considera que es una necesidad porque está fundamentada en la existencia de factores de orden psicológico imprescindibles para mantener el equilibrio personal.

La OMS define a la salud como el "estado de completo bienestar físico mental y social y no solamente la ausencia de enfermedad" (año, página) lo que podría traducirse como "estar bien" o "sentirse bien". Entendido así el concepto de salud, este queda ampliado y abarca la esfera de los sentimientos y de los estados afectivos. Desde esta perspectiva, la ansiedad, los mecanismos de defensa y las diferentes teorías sobre el estrés van a permitir comprender con mayor profundidad cómo la mente humana tiene elaborados sus propios mecanismos de adaptación que le permiten mantener el equilibrio y la armonía (sentimiento de seguridad consigo mismo y con el entorno).

Esta necesidad sentida no es ajena a lo que experimentaron los enfermeros/as entrevistados/as, cuyas expresiones se sintetizan y reflejan en la siguiente frase: "[...] Al comienzo sentía la sensación de temor ante una patología desconocida,.....

miedo a contagiar a mi familia[...] Mi niño me preguntaba, pero ¿mamá si nos contagiarnos?[...]". Esta sensación de inseguridad, entre otros sentimientos que fueron manifestados por el personal de enfermería, estaría relacionada con las vivencias negativas provocadas al ver morir una persona internada afectada por COVID-19.

Por otro lado, la necesidad de evitar los peligros ambientales e impedir que perjudiquen a otros, es entendida en sus aspectos operativos como base para la prevención sanitaria. Así, se observa que el énfasis de las instituciones sanitarias se sitúa en el control de infecciones, en las medidas de higiene, esterilización, seguridad en edificios, prevención de lesiones y traumatismos, entre otras, dejando del lado los aspectos emocionales y psicológicos del personal de enfermería en este contexto de cuidado de personas afectadas por COVID-19.

Como se ha propuesto, se estudia esta necesidad y sus alteraciones desde una perspectiva más amplia que pone el foco en los aspectos que contemplan en detalle la Enfermería en Salud Mental, pues se entiende que todos los seres humanos necesitan y buscan la armonía en la interacción con los demás y con el mundo.

Buscar la compañía y el entendimiento de los semejantes y huir de la soledad o del tumulto resultan conductas humanas similares que tienden, por lo común, a reafirmar los sentimientos de pertenencia y seguridad; de este modo, se comprende que las personas dediquen gran parte de sus energías a intentar ser comprendidas, apreciadas e, incluso, amadas.

En los escenarios cotidianos de cuidado de personas afectadas por COVID-19 o sospechosas de padecer la infección, las/os enfermeras/os, al igual que el resto del equipo de salud, conviven con sensaciones de ansiedad, inseguridad y temor, los cuales requieren del desarrollo de modos saludables de prevención del estrés y de la angustia derivados de un contexto percibido como inseguro.



Estos factores vivenciados por el propio personal que brinda los cuidados son expresados de esta manera: "Muchas veces nos sentimos como factor de riesgo para nuestros seres queridos, quizás a veces también para nuestros mismos compañeros y aún a veces para la sociedad misma".

Sin olvidar que los factores mencionados anteriormente son mecanismos de defensa inconscientes y, por este motivo, no reconocidos espontáneamente por la persona que los utiliza, podemos decir que la función de esto es habitualmente fructífera, ya que favorecen la adaptación positiva, lo que implica que existe una interacción y acomodación entre la persona y el entorno

Los mecanismos de adaptación son reacciones psicológicas de carácter defensivo que nos protegen contra la ansiedad. En la actualidad, la sociedad utiliza el término estrés como sinónimo de sobresalto, otros como equivalente de malestar y, para la mayoría, exponente de tensión.

No obstante, no deben tenerse en cuenta solo los aspectos negativos del estrés, ya que puede afirmarse que resulta indispensable para la vida. Existe un nivel óptimo de estrés biológicamente necesario para cada individuo, que resulta ser el objeto estimulador de todas las actividades. El fin de este nivel óptimo de estrés es que el ser humano funcione de manera armónica y en condiciones óptimas, lo que le proporciona seguridad tanto para su propio desarrollo y evolución como para el de la especie.

La agresividad resulta constructiva cuando permite defenderse de un peligro o una amenaza real, y aparece como destructiva cuando su fruto es una conducta desadaptada a la realidad del entorno. Por ello, es importante construir cuidados individuales que aporten seguridad al personal de enfermería en los espacios laboral, personal y familiar.

Por otro lado, una de las características propia del ser humano, es la capacidad de comunicarse con sus semejantes

para expresar sentimientos, experiencias íntimas (como las amenazas que aparecen en estos tiempos entre ellas la ansiedad, preocupaciones, miedos) y necesidades, a través de actitudes corporales o de los símbolos lingüísticos, que permiten estar siempre y en todo momento comunicados los demás.

En todo proceso de comunicación deben existir dos interlocutores válidos, que interactúen a través de un mensaje. El personal de enfermería posee compañeros de trabajo, amigos o familiares como personas significativas, y es preciso que esta interacción vaya acompañada de respuestas, si no, no existiría comunicación. Cuando la comunicación no consigue el objetivo propuesto, aparecen distorsiones que influirán en el buen nivel de salud.

Esta necesidad de comunicación estuvo alterada en el personal de Enfermería que brindó cuidados a personas afectadas por COVID-19, dado que tuvieron que limitar el contacto físico con el grupo familiar, los amigos, los compañeros de trabajos y las personas significativas. Una de las expresiones más frecuentes fue la que sigue a continuación:

Quando llego a casa mi niño me quiere abrazar y besar y yo siempre le digo que por ahora no, "hasta que no me bañe, esto no lo podemos hacer" [...]. La reacción que produce en mi hijo es un sentimiento de tristeza y de reclamos por más tiempo dedicado a él.

Esta expresión nos permite reflexionar acerca de la cultura de las personas en relación con el entorno, donde la mayoría de las veces los encuentros familiares y sociales comienzan con un saludo a través de abrazos y besos; esta realidad de pandemia nos obliga a construir y reconstruir nuevos estilos de vida.

El tipo de relación que se establece en el núcleo familiar tiende siempre a la homeostasis; así, las atribuciones, defini-

ciones o expectativas sobre cada uno de sus miembros se fortalece, si las actitudes son de respeto y aceptación hacia cada uno de ellos y si también facilitan el desarrollo de las individualidades y de la identidad personal. En cambio, si lo que persiste es el rechazo y la descalificación, surgirán las inseguridades personales y la identidad difusa, entre otras consecuencias. Para poder establecer una relación con los demás y comunicarse satisfactoriamente, es preciso tener conciencia clara del propio yo y de la propia identidad personal, para lo cual precisamos de la definición que realiza, sobre nosotros, el interlocutor. Sin la confirmación de nuestra existencia por parte de los demás no sabríamos que existimos.

Paralelamente es preciso poder definir al otro para poder comprender el mensaje que se está produciendo, porque en función de la definición que hagamos del otro podremos comprender el contenido del discurso; es decir, si la relación es de amistad o de índole profesional, el significado de las palabras concretas variará. En una relación saludable existe una confirmación realista sobre nosotros mismos y, de forma recíproca, de los demás.

Las personas pueden ser más o menos activas y disfrutar de las satisfacciones obtenidas por la realización de su trabajo, por medio del cual además suelen expresar talento o habilidad; asimismo, se añade el fruto correspondiente al esfuerzo que han realizado. Cuando las personas no alcanzan a conseguir de manera completa su necesidad de sentirse realizadas, aparece la frustración, que es un concepto de orientación más dinámica, cuyo significado se proporciona a continuación: La finalidad del trabajo no es solamente personal, no se trata tan solo de nuestro propio interés, a pesar de que cada uno tenemos nuestra fuente de motivación y exigencia, existen también motivaciones comunes, más altruista, que impulsadas por la generosidad nos encaminan a esforzarnos para ayudar a los demás, como un sentimiento de pertenencia que conduce al

intercambio social.

Si se entiende la salud mental desde un ámbito amplio y globalizador, la necesidad de realización también hace referencia a la constante interacción con el medio, lo que implica un trabajo de colaboración y la acción de establecer como parámetro definitorio el grado alcanzable de salud. Existe también la solidaridad y el interés por los demás, lo que es quizás la forma más humana de afirmarnos y realizarnos. Compartir el bienestar con otras personas desarrolla vínculos y sentimientos de estar al servicio del otro.

Como "La frustración es el sentimiento opuesto que se experimenta cuando no puede conseguirse aquello que se había propuesto, en este sentido se observa con bastante frecuencia esta situación, en el marco de esta pandemia, como resultado de la mayor exigencia dentro de los servicios, cuando no se logran alcanzar los objetivos propuestos. La capacidad para posponer el logro de un objetivo se considera como un signo de tolerancia a la frustración y significa, hasta cierto punto, el grado de madurez de la persona".

Por último, el trabajo y el descanso no son excluyentes, sino complementarios. Sin un descanso adecuado y suficiente, es prácticamente imposible ser productivo, porque aparece el fenómeno denominado fatiga. Esta se trata de una sensación molesta o penosa que se experimenta en relación con la actividad producida por un trabajo prolongado o intenso y que se acompaña de disminución del rendimiento. Cuando aparece esta fatiga o cansancio, deberemos repararlo y, para ello, el medio puede ser el descanso, que nos permitirá recuperar la energía para retomar las actividades. Descansar no supone necesariamente no hacer nada, también puede referirse a cambiar de actividad, dedicarse a las pasatiempos, o disfrutar contemplando la naturaleza.

Las experiencias que relatan los enfermeros/as en sus expresiones son se transcriben seguidamente:

Nosotros trabajamos porque amamos a nuestra profesión,[...] sabemos el horario en el que entramos, pero no sabemos cuándo salimos, porque muchas veces los pacientes y las familias nos requieren [...]. En este tiempo de pandemia no sabemos lo que es recrearnos, primero por lo que significa trabajar con este tipo de pacientes y, por otro lado, porque las normativas no lo permiten.... Somos conscientes, a la vez, del nivel de exposición que nuestra profesión exige, siempre estamos en contacto directo, arriesgando nuestra salud. Esto nos produce temores, inseguridades, miedos, por nosotros y nuestros familiares.

Si queremos mantener un adecuado nivel de salud mental, estas actividades no pueden ni deben abandonarse totalmente, porque el tiempo de ocio es válido y gratificante. Así como expresamos que el sufrimiento es una constante en el ser humano, la necesidad de sentir placer también lo es. En razón a esto, el ser humano no debe ser contemplado tan solo como generador de rendimiento productivo, como maquinaria laboral humana, sino que necesitará, para producir ese rendimiento, disfrutar de periodos de descanso, es decir, vacaciones, cambiar de actividades o tiempo para distraerse, en una palabra, divertirse. Así completará su vida proporcionándole un significado placentero.

Virginia Henderson 2007, aprender a descubrir o satisfacer curiosidades que lleven a implementar estrategias de cuidado de su salud es otra más de las necesidades fundamentales propias de los seres humanos. El concepto que entiende al hombre como un ser libre y autónomo, resulta incompatible con la ignorancia; quien no sabe o no conoce depende, en mayor o menor medida, de la información e indicaciones de los demás.

Por lo tanto, la capacidad de una persona de ampliar los conocimientos puede dar a entender y resultar indicativo, tan-

to de sus posibilidades intelectuales como de su capacidad de adaptación al medio, lo que definirá también su grado de salud mental. Todas las personas poseemos un cierto grado de curiosidad que nos impulsa a adquirir nuevos conocimientos. Es el deseo de aprender o descubrir todo aquello que nos resulta nuevo o desconocido y cuyo producto, en definitiva, es el germen del progreso. Resulta difícil imaginar algunos periodos de nuestra vida que no estemos aprendiendo; se podría decir que vivir significa un continuo aprendizaje.

En referencia a los aprendizajes, las personas que trabajan en el área de enfermería expresaron:

En este tiempo de pandemia tuvimos que aprender nuevas técnicas y medidas para el cuidado y autocuidado al aparecer este nuevo flagelo. Hoy sabemos muchas cosas que se desconocían, en parte fue dado por la capacitación y, por otro lado, por la experiencia misma del trabajo diario [...]. Estos aprendizajes nos produjeron numerosos cambios, nos adaptamos a nuestra nueva realidad, que nos ha permitido sentirnos más seguros y tranquilos, recuperando poco a poco el equilibrio [...].

Dada la complejidad y amplitud de contenidos que hay que aprender, la transmisión de saberes y conocimientos, en nuestra sociedad, no es tan solo responsabilidad de unos profesionales, los enseñantes, sino que, en cierta manera, se ha convertido en una actitud general. Todos debemos enseñar aquello que sabemos y todos tenemos necesidad de aprender lo que desconocemos. Como consecuencia de la mayor complejidad de las actividades humanas, nadie es experto en todo, dado que cada vez se tiende más a la especialización en pequeñas parcelas del saber. Cada uno de nosotros puede dominar en cierto grado un área del conocimiento y esta será nuestra responsabilidad a la hora de ampliarlo y transmitirlo. Aprender no es tan solo una necesidad significativa en salud

mental, sino que, además, es también una obligación profesional. Cuando uno debe ser competente para cuidar su salud y la de otras personas, debe estudiar de forma continua para poder responder adecuadamente los desafíos del mundo actual.

El cuidado de sí o autocuidado es la capacidad de las personas para enfrentar y solucionar sus propios problemas de salud mental de forma autónoma o con el apoyo de los miembros de la familia o amigos y determinar, cuándo, cómo y dónde se requiere acudir en busca de ayuda. Significa que las personas pueden detectar situaciones de alto riesgo para su salud mental y evitarlas, y que pueden adquirir capacidad para controlar el estrés o los problemas emocionales en su vida diaria. Por lo tanto:

El cuidado de la salud mental refiere al conjunto de actividades basadas en conocimientos culturales y científicos, que tienen como objetivo fomentar, proteger, conservar y recuperar la salud mental. La salud mental está íntimamente ligada a la salud integral de la persona y de los grupos, constituida en el marco del proceso histórico, político, económico, cultural y social, que encuadra y da sentido al proceso de humanización. (Galli, 1985)

Las preocupaciones y la ansiedad generadas por la pandemia de COVID-19 y su impacto pueden ser abrumadoras. El distanciamiento social hace que todo sea aún más complejo. Es necesario aprender maneras de afrontar la situación durante esta pandemia.

La pandemia de COVID-19 ha cambiado, probablemente, la manera en que las personas viven su vida y, con esto, ha traído incertidumbre, alteración en las rutinas, presiones económicas y aislamiento social. Quizás aparezca preocupación por enfermarse, por cuánto tiempo durará la pandemia y por qué deparará el futuro. El exceso de información, los rumores y la información errónea pueden provocar sensación de pérdida

de control y falta de claridad sobre qué hacer.

Durante la pandemia de COVID-19 las/los enfermeras/os pueden sentir estrés, ansiedad, miedo, tristeza y soledad. Es posible que empeoren los problemas de salud mental, incluyendo la ansiedad y la depresión, entre otras.

Por ello, es necesario aprender y desarrollar estrategias para el cuidado de sí o autocuidado y buscar la atención requerida para generar acciones de afrontamiento de esta situación.

Las medidas de cuidado de sí o autocuidado son positivas para la salud física y mental y pueden ayudar a tomar el control de la vida. Se requiere el cuidado del cuerpo y de la mente y mantener la conexión con otros para beneficio de la salud mental.

Finalmente, se propone, desde la teoría de Dorothea E Orem (año) que el autocuidado es una actividad aprendida por los individuos, orientada hacia un objetivo. Es una conducta que existe en situaciones concretas de la vida, dirigida por las personas sobre sí mismas, hacia los demás o hacia el entorno, para regular los factores que afectan a su propio desarrollo y funcionamiento en beneficio de su vida, salud o bienestar.

Oren plantea, además, que existen factores básicos condicionantes: son los factores internos o externos a los individuos que afectan a sus capacidades para ocuparse de su autocuidado, en este tiempo de crisis e incertidumbres causado por la pandemia COVID-19 (año).

## Conclusiones

En la vida diaria estamos permanentemente expuestos a situaciones conflictivas (a veces, repetitivas) que producen modificaciones emocionales en forma de ansiedad ("nervios"), miedo, tristeza, frustración o rabia, y que se acompañan de cambios en el funcionamiento corporal, como palpitaciones,



tensión de los músculos, sensación de vacío en el estómago, etc. Son reacciones transitorias de duración variable que actúan como mecanismos de defensa y que, de alguna manera, nos alertan y preparan para enfrentarnos a la situación traumática Cohen R, 1985

La relación de ayuda del profesional de enfermería está sustentada en el cuidado de la salud, como un proceso interactivo entre una persona que tiene necesidad de ayuda y otra capaz de ofrecérsela. En esta última confluyen sentimientos, emociones, creencias, valores, conocimientos, experiencias, vivencias de salud anteriores y mecanismos de afrontamiento a situaciones de salud en particular.

La enfermería es la única profesión del sistema de salud que ofrece cuidados en forma permanente y continua en el proceso asistencial, lo que hace que los profesionales de esta área sean un recurso altamente vulnerable a padecer afecciones físicas y psicológicas.

Las experiencias que revelaron los/las enfermeros/as al brindar cuidados a personas afectadas por COVID-19 fueron heterogéneas y están relacionadas a las sensaciones y sentimientos que padecieron. Con el objetivo de favorecer una mayor comprensión, se mencionan solo aquellas que resultaron más significativas; estas fueron agrupadas en positivas y negativas. Dentro de estas últimas se identificaron, por un lado, el miedo constante a contraer la enfermedad y, además, el de contagiar a su familia; por otro lado, se destaca la sensación de ansiedad por lo que le podría suceder al atender a una persona que presenta una patología desconocida por el equipo de salud de todo el mundo.

Estas sensaciones y sentimientos que el personal de enfermería padeció son factores que predisponen a otras alteraciones, tanto físicas como aquellas que tienen relación con necesidades básicas insatisfechas, como seres humanos. Según Virginia Henderson (año), la necesidad de seguridad tiene

que ver con el miedo constante a contagiarse y el miedo a la muerte; estas podrían estar relacionadas con las experiencias vividas en los servicios, por ejemplo, ver morir a los pacientes, el contagio de los colegas, entre otras, que predisponen a los/las enfermeros/as a tener sentimientos de frustración, de ira y de impotencia donde piensan que sus acciones no sirvieron de nada.

Por otro lado, la modalidad de trabajo en horarios rotativos de seis horas diarias hace que los/las enfermeros/as estén expuestos a numerosos factores, tales como el descanso y sueño interrumpidos, hábitos de alimentación y de comunicación con la familia alterados, los que produjeron consecuencias físicas tales como el cansancio, el desgano, la falta de apetito, entre otras.

Dentro de las experiencias positivas, el personal de enfermería reconoció el aprendizaje generado por estas vivencias, dentro de ellas, las técnicas para cuidar a una persona afectada por COVID-19, que no fueron fáciles, pero a la vez significativas, porque no solo aprendieron a cuidar al otro, sino también a cuidar de sí mismos. En esto también se destaca la sensación de autorrealización por haber elegido ejercer una profesión digna y humanizada, por el trabajo en equipo desde la interdisciplinariedad, la aplicación de normativas institucionales (protocolos), etc.

Por último, se puso énfasis en la alegría como un sentimiento que estuvo presente al ver a los pacientes irse de alta, por haber ganado esta batalla que fue todo un desafío.

## Bibliografía

- Agüero Caro, Magdalena. (2006) Salud Mental en el trabajo. Biblioteca Lascasas; 2. Disponible en: <http://www.indexf.com/lascasas/documentos/lc0081.php>
- Cohen, Raquel E. (1985). "Reacciones individuales ante desastres naturales". En Bol Of Sanit Panam. 98 (2), pp.171 – 180.
- Henderson, Virginia (2001). Teoría de las necesidades básicas significativas en Salud Mental, citado por Rigol Cuadra, Assumpta, Ugalde Apalategui, Mercedes, "Enfermería de Salud Mental y Psiquiátrica, 2º Edición, Barcelona, España.
- Lima, B. R. (1992). "Capítulo XIV. La atención comunitaria en salud mental en situaciones de desastres". En: Levav I. (edit.). Temas de salud mental en la comunidad (pp. 218 – 236). Washington, D.C.: Organización Panamericana de la Salud.
- León Román Carlos A. (2007). Cuidarse para no morir cuidando, revista cubana de Enfermería Cuba. Disponible en <https://bit.ly/2BDKCFV>
- Mayo Clinic (15 de octubre de 2020). COVID-19 y tu salud mental . Disponible en <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/coronavirus/in-depth/mental-health-covid-19/art-20482731>
- Modelos de intervención en crisis en situaciones de emergencia y desastres disponible en: [file:///C:/Users/pc/Desktop/datos%20rc/S.Mental%20%20Mariano/grupo%203/mo-  
do\\_intervencion\\_situaciones\\_emergencias.pdf](file:///C:/Users/pc/Desktop/datos%20rc/S.Mental%20%20Mariano/grupo%203/mo-<br/>do_intervencion_situaciones_emergencias.pdf).
- OPS (18 de marzo de 2020). Consideraciones psicosociales y de salud mental durante el brote de COVID-19. Disponible en: <https://bit.ly/2Z4abs0>
- Orem Dorothea Elizabeth (2014) La teoría Déficit de autocuidado: Disponible en [file:///C:/Users/pc/Desktop/Dori-  
tea%20Orem.pdf](file:///C:/Users/pc/Desktop/Dori-<br/>tea%20Orem.pdf).
- Pacheco Concepción, José Alejandro y Rodríguez Larreynag Miriam (2017). La teoría Déficit de autocuidado: Dorothea Elizabeth Orem Gaceta Médica Espirituana Universidad de Ciencias Médicas. Sancti Spíritus Cuba. Disponible en <fi->

[le:///C:/Users/pc/Desktop/Doritea%20Orem.pdf](file:///C:/Users/pc/Desktop/Doritea%20Orem.pdf)

Protección de la Salud mental en situaciones de epidemias.

Disponible en: <file:///C:/Users/pc/Desktop/datos%20rc/S.Mental%20%20Mariano/grupo%203/Pandemia%20de%20influenza%20y%20Salud%20mental%20Esp.pdf>

Rigol Cuadra, Assumpta, Ugalde Apalategui, Mercedes (2001).

"Enfermería de Salud Mental y Psiquiátrica, 2º Edición, Barcelona, España.

**IV. ÁREA TEMÁTICA:  
GESTIÓN DE LA NATURALEZA  
Y EL AMBIENTE**

# COMPORTAMIENTO DE PLÁNTULAS DE *MEDICAGO SATIVA* CV. SALINERA INTA, GERMINADAS BAJO CONDICIONES DE SALINIDAD

ALEJANDRA CATAN<sup>1</sup>; CLAUDIA DEGANO<sup>1</sup>; DIEGO DE LA VEGA<sup>2</sup>;  
ALICIA FRAÑO<sup>1</sup>; MARÍA TARGA VILLALBA<sup>1</sup>

## Resumen

*Medicago sativa* L. cv. Salinera INTA es una forrajera adaptada a la germinación en suelos salinos. A pesar de la relevancia de esta especie, que es utilizada en suelos degradados por malas prácticas agrícolas y por efecto de la evaporación, la información acerca de sus mecanismos de adaptación es escasa. Con el propósito de estudiar dichos mecanismos, se han realizado estudios de germinación en este cultivar empleando soluciones de agua y NaCl en dos concentraciones diferentes [tratamientos (T1 y T2)]: T1=-0,6 MPa y T2=-1 MPa para ser comparados con el testigo o control (T0), cuya germinación se produjo en agua destilada. Para entender el mecanismo

1 Laboratorio de Botánica General, FAyA- UNSE

2 Tesista

que permite el establecimiento del cultivo en esta situación de estrés, se analizaron los siguientes parámetros: longitudes de la radícula, el hipocótilo y los cotiledones, los cuales fueron medidos empleando una regla milimétrica, también se determinó la relación hipocótilo/radícula. Entre los parámetros anatómicos, en el cotiledón se midieron los espesores de la lámina y ambos parénquimas y en la radícula el diámetro de la misma, el cilindro central, lumen de los vasos xilemáticos, así como el espesor de la corteza y de la pared de los vasos. Para ello se aplicaron técnicas tradicionales de inclusión en parafina y obtuvieron preparados permanentes. Las observaciones y medidas se realizaron con microscopio óptico equipado con cámara digital y software. El análisis estadístico se realizó con Infostat, se utilizó el test LSD Fisher ( $p < 0,05$ ). Los valores obtenidos indicaron que existen diferencias en los parámetros morfométricos entre el testigo y los dos tratamientos, con disminución de la longitud de los órganos con el aumento de las concentraciones de sal. Los datos de anatomía muestran que hasta el tratamiento T1 se produce crecimiento, pero en el T2 existe desorganización celular en los órganos estudiados. Los resultados del ensayo permiten concluir que el límite de concentración salina es  $-0,6$  MPa para lograr germinación de semillas con desarrollo aceptable de estructuras vegetativas.

Palabras claves: anatomía, *Medicago sativa*, plántula, salinidad

## Abstract

*Medicago sativa* L. cv Salinera INTA is a forage adapted to germinate in saline soils. Instead of the relevance of this specie, used in soils degraded by bad agriculture practices and because of the evapotranspiration, the information about adaptation

mechanisms is rare. With the purpose to study those mechanisms, germination studies were done on this cultivar using 2 water solutions with NaCl on different concentrations: -0,6 MPa y -1 MPa (T1 y T2 respectively) to be compared with the control, germinated on pure water (T0). To understand the mechanism that allow the establishment of this crop in this stress situation, the following parameters were analyzed: length of radicle, hypocotyl, and cotyledon, measured using millimeter rule, the ratio hypocotyl/radicle was also determined. The anatomical parameters were: in cotyledon: thickness of leaf and both parenchymas; in radicle were measured thickness of cortical parenchyma, central cylinder, xylem vessels and lumen of vessels; permanent slides were made using classic methods. Optic microscope with digitalization camera and software were used. Data were analyzed with Infostat, LSD Fisher test ( $p < 0,05$ ) was used to compare medias. Data obtained show that there are differences in morphometric parameters between the control and both treatments, with decrease of length of the three organs with the increase of salt concentrations. Anatomy data show that until treatment T1 the plants grow, but in T2 cellular disorganization appear. According to this study, it can be said that -0,6 MPa saline concentration is the limit to achieve germination with development of acceptable vegetative structure.

Keys words: anatomy, *Medicago sativa*, salinity; seedling

### **El efecto de la salinidad en germinación de *Medicago sativa* L. cv Salinera INTA**

La salinidad es uno de los factores que más impacta en la germinación de las semillas y, si bien las sales están presentes de



manera natural en el suelo, la salinización de los mismos es una condición generada por la acumulación de sales solubles en los horizontes más superficiales. Esta condición de salinidad se debe generalmente a un mal manejo de las prácticas de riego, sumadas a las características propias de la región, tales como las elevadas temperaturas y la alta insolación, lo que lleva a una fuerte evaporación y concentración de sales en superficie (Santamaría César et al., 2004; Castellanos et al., 2000).

Según Munns y Tester (2008), un suelo se considera salino cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEes) es igual o mayor a 4 dS/m, lo que equivale a una concentración de 40 mM de NaCl y a una presión osmótica de aproximadamente -0,2 MPa.

Argentina presenta más de 13 millones de hectáreas con altas concentraciones de sal en los suelos, índice que la ubica en el tercer lugar en el mundo con este fenómeno después de Rusia y Australia (Talesnik y Launestein, 2011).

Como resultado del avance de la frontera agrícola, los sistemas ganaderos se intensificaron, debido a que los mismos se desarrollan en zonas que antes se consideraban marginales y con limitaciones tanto edáficas como climáticas (De León, 2004; Odorizzi, 2015).

Como consecuencia de este nuevo escenario de la ganadería, se debieron introducir nuevas especies forrajeras con mejores características productivas. Las gramíneas megatérmicas fueron las primeras especies implantadas con el fin de mejorar la productividad de las áreas ganaderas y, posteriormente, entre las leguminosas se menciona a *Medicago sativa* L. (alfalfa), denominada la "reina de las forrajeras" (Ripodas, 2003).

La salinidad es uno de los factores más importantes en la degradación de los suelos, proceso que se ha visto agravado por la creciente expansión de la agricultura, lo que trae aparejado el aumento en la evapotranspiración, el uso de fuentes de aguas subterráneas y el impacto en el cambio climático (Cor-

nacchione, 2019).

La presencia de sales disueltas en el agua de riego o disponible para las plantas inhibe el crecimiento de las mismas. Las altas concentraciones de sal reducen el potencial osmótico y, con ello, la capacidad de la planta de absorber agua se ve limitada, lo que se traduce en un crecimiento más lento. Una vez que los iones ingresan a la corriente transpiratoria, pueden generar desde desequilibrios nutricionales hasta toxicidad (Munns y Tester, 2008).

Ante esta situación, las plantas desarrollan mecanismos para enfrentar el estrés, minimizando la entrada de iones por raíz, su actividad, o regulando el transporte de los mismos (Munns, 2005).

También se generan modificaciones en el crecimiento de las plantas, demora y/o disminución de la emergencia en germinación y variación de la regulación estomática y tasa fotosintética, todos ellos relacionados con los cambios que se producen a nivel celular en los tejidos (Sandhu *et al.*, 2017).

### **La alfalfa como opción en suelos degradados: cultivar Salinera INTA**

*Medicago sativa* es uno de los cultivos forrajeros más utilizados en el mundo debido a su elevada producción de materia seca y calidad nutricional (Cancio, 2016; Elliot *et al.*, 1972); esta especie presenta además la capacidad de adaptarse a diferentes condiciones ambientales y prácticas de manejo (Basigalup *et al.*, 2007).

*Medicago sativa* es empleada en Argentina como una de las bases para la alimentación de ganado bovino, caprino, ovino y equino. Con superficies sembradas cercanas a los 4 millones de has, puede emplearse como cultivo puro o consociado con gramíneas (Odorizzi, 2015).

Si bien la alfalfa se considera una especie moderadamente sensible a la salinidad, existen genotipos tolerantes/resistentes, tal como el cultivar Salinera INTA, capaz de crecer y desarrollarse en suelos con elevadas concentraciones de sales (Ochoa, 1990).

Las investigaciones de Katerji *et al.*, (2012), quienes trabajaron con distintas especies, concluyen que la capacidad de emergencia en condiciones de salinidad no representa un indicador de tolerancia, tanto para especies tolerantes como para especies sensibles. En el caso específico de la alfalfa, los resultados son dispares, ya que Steppuhn *et al.*, (2012) sugieren que la capacidad de producir biomasa no está estrechamente relacionada con la capacidad de emergencia, mientras que otros han demostrado la correlación positiva entre la germinación y el potencial de rebrote en estrés salino, tanto en invernáculo como en condiciones de campo (Scasta *et al.*, 2012). De acuerdo con Gorai y Neffati (2007), las etapas de la germinación y establecimiento del cultivo en estadio de plántula son críticas y decisivas para las especies sensibles a la salinidad, puesto que afecta directamente el desarrollo del cuerpo vegetativo, lo que impide muchas veces el desarrollo completo del vegetal.

Es por esta razón que debe enfocarse el estudio, fundamentalmente, en las radículas e hipocótilos en el momento de la germinación, ya que son los primeros órganos en emerger y tomar contacto con el suelo y las sales contenidas en él (Degano, 1999; Garzón y García, 2011). El estudio de estos órganos en condiciones extremas permitiría entender el mecanismo para mejorar la germinación y la emergencia de algunos cultivos.

Aunque numerosos autores han realizado trabajos en *M. sativa* bajo condiciones de salinidad, resulta escasa la información existente sobre el proceso de germinación y la cuantificación de caracteres morfométricos en etapas tempranas del desarrollo del cultivar Salinera INTA, en presencia de NaCl. Con

el objetivo de profundizar el conocimiento sobre los mecanismos de adaptación de esta especie, el grupo de investigación del laboratorio de Botánica General de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Universidad Nacional de Santiago del Estero (FAyA-UNSE), trabajó en la determinación de los parámetros morfológicos y anatómicos de las plántulas de *M. sativa* cv. Salinera INTA, germinando bajo condiciones de estrés salino, a los efectos de estudiar los mecanismos de adaptación de esta especie.

### Metodología

Se utilizaron semillas de *M. sativa* cv. Salinera INTA cosechadas en el año 2015 en el semillero ubicado en la Estación Experimental Francisco Cantos – INTA Santiago del Estero, Argentina, ubicada sobre la ruta nacional N° 9 a 27 km de la ciudad capital de Santiago del Estero, a 28°05' S y 64°15' W, que resultó del programa de recuperación del material original de dicho cultivar por parte de la institución (Cornacchione, 2017; Figura 1).



**Figura 1.** Semillero de *M. sativa* cv. Salinera INTA. Estación Experimental Agropecuaria Francisco Cantos. La Abrita, Santiago del Estero

Debido a la escasa información referida con el cultivar Salinera INTA bajo condiciones de estrés salino, fue necesario realizar un ensayo exploratorio para establecer los potenciales osmóticos de las soluciones tratamiento en las cuales se evaluarían las diferentes variables.

En dicho ensayo, para simular el estrés salino, se utilizaron soluciones de NaCl a potenciales osmóticos de 0 (control), -0,6 y -1 MPa. En todos los casos, dichos potenciales fueron calculados mediante la ecuación de Van 't Hoff y chequeados con osmómetro Wescor Vapro 5520, sobre tres repeticiones de cada solución.

Para cumplir con los objetivos del trabajo, a partir de los datos obtenidos en el ensayo exploratorio se definieron los siguientes tratamientos (T): T0 (control; agua destilada); T1=-0,6; y T2=-1 MPa.

La equivalencia aproximada de estos valores de potenciales osmóticos (MPa) en valores de conductividad eléctrica (CE) expresada en decisiemens por metro (dS/m) y concentración de cloruro de sodio (NaCl) en milimolar (mM) son mostrados en la Tabla 1.

Potencial Osmótico (MPa)	Conductividad Eléctrica CE (dS/m)	Concentración (mM)
-0,6	16	121
-1	27	202

Tabla 1. Valores de potencial osmótico, conductividad eléctrica y concentración de las soluciones de NaCl usadas en los tratamientos

Se realizaron 4 repeticiones de 50 semillas cada una, colocadas en toallas de papel y embebidas con las soluciones correspondientes. Cada tratamiento fue colocado individualmente en bolsas plásticas cerradas para conservar la humedad e incubadas en cámara de germinación a temperatura de 20 °C

constante y con un fotoperíodo de 12 h, según I.S.T.A. (2018) para el género *Medicago*.

La evaluación de la germinación de las semillas se registró diariamente durante un periodo de 10 días; se consideraron germinadas a aquellas semillas cuya radícula superaba los 2 mm de longitud. A partir de ese momento se evaluaron los parámetros morfológicos y anatómicos de las plántulas.

Entre los parámetros morfológicos se registraron los siguientes: longitud de la radícula (LR), longitud del hipocótilo (LH), longitud del cotiledón (LC), y se determinó la relación de longitud hipocótilo/radícula (H/R). Las longitudes de los diferentes órganos en estudio se determinaron mediante el uso de una regla milimetrada.

A nivel anatómico se observaron y cuantificaron diámetro de la radícula (DR), diámetro del cilindro central (DCC), espesor del parénquima cortical (EPC), espesor de la pared de los vasos xilemáticos (EPVX) y diámetro del lumen de los mismos (LVX); mientras que en los cotiledones se midieron los espesores de la lámina (EL), del parénquima esponjoso (EPEs) y del parénquima en empalizada (EPEm). Para las determinaciones anatómicas, se separaron las radículas y los cotiledones por tratamiento y se realizó la hidratación en la serie de alcoholes, clarificación e infiltración en parafina del material, formando los tacos y realizando los cortes con microtomo rotativo con un espesor definido de 12  $\mu$ m. Los cortes fueron desparafinados y se tiñeron con coloración doble sucesiva usando safranina-fast green con posterior montaje con bálsamo de Canadá; con esto se lograron preparados permanentes (Johansen, 1940).

Las observaciones y mediciones se realizaron con microscopio óptico equipado con procesador de imagen Motic BA 210.

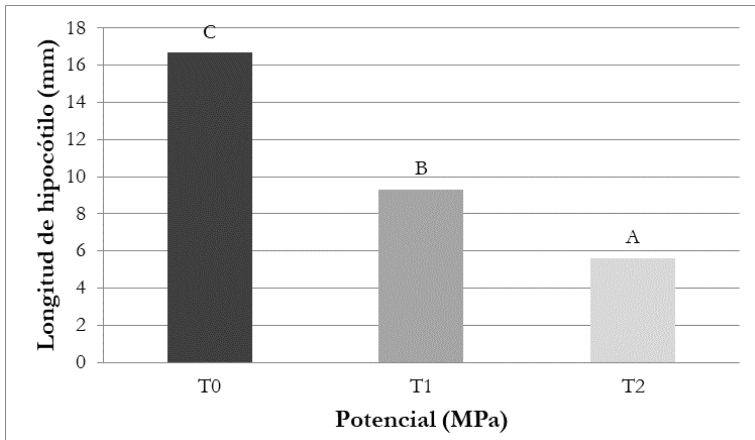
Se utilizó un diseño experimental completamente aleatorizado con 4 repeticiones y, mediante el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2018), se realizó un análisis de la varianza de los valores obtenidos y se utilizó, para la diferencia

entre los tratamientos, el test LSD Fisher ( $p < 0,05$ ).

### **Cuantificaciones de los parámetros morfológicos de las plántulas germinadas en medio salino**

La LH disminuyó significativamente en todos los tratamientos. Esta reducción fue más pronunciada a medida que el potencial osmótico se hizo más negativo; se registró que, en  $-1$  MPa, alcanzó una longitud 64% menor a la correspondiente en el hipocótilo de las plántulas control (Figura 2). Otros estudios realizados en estados tempranos del desarrollo de diferentes cultivares de alfalfa determinaron que el crecimiento de la parte aérea del cultivar CUF 101 es severamente afectado por la presencia de sales, independientemente de su concentración y tipo, el cual resulta inhibido completamente a partir de potenciales menores a  $-0,69$  MPa generados por NaCl (González Romero, 2009), mientras que para los cultivares Anand II e IGFRI-S-54, la longitud del brote se redujo en soluciones con 4 dS/m de CE generadas por esta misma sal (Bhardwaj *et al.*, 2010).

Este comportamiento podría atribuirse a un efecto inhibitorio de los iones sobre el crecimiento de las plántulas (Jamil *et al.*, 2007) y a una absorción más lenta de agua por parte de las semillas durante el proceso de germinación (Layne Garsaball *et al.*, 2008). Degano (1999) concluyó que el achaparramiento generado por NaCl en *Tessaria absinthioides* (Hook et Arn) DC. es un mecanismo que permite la supervivencia de la planta bajo condiciones de salinidad. Por lo general, una tasa de crecimiento más lenta sería una estrategia adaptativa que las plantas utilizan para sobrevivir en condiciones de estrés (Zhu, 2001).



**Figura 2.** Longitud de hipocótilo (mm) de *M. sativa* cv. Salinera INTA incubadas en diferentes potenciales osmóticos generados por NaCl. Letras distintas indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

La LR se diferenció significativamente en el control respecto de los tratamientos con -0,6 y -1 MPa de potencial osmótico, los cuales provocaron una reducción de LR del 25 y 76%, respectivamente (Figura 3). A diferencia de lo ocurrido en Salinera INTA, la LR del cultivar Apollo se redujo significativamente a partir de concentraciones de 40 mM de NaCl y el crecimiento de la raíz fue completamente inhibido a 400 mM (Lastiri Hernández *et al.*, 2017). Otros cultivares de alfalfa como IGFRI-S-54 y Anand II vieron reducida su LR a partir de soluciones salinas con CE de 2 dS/m (Bhardwaj *et al.*, 2010).



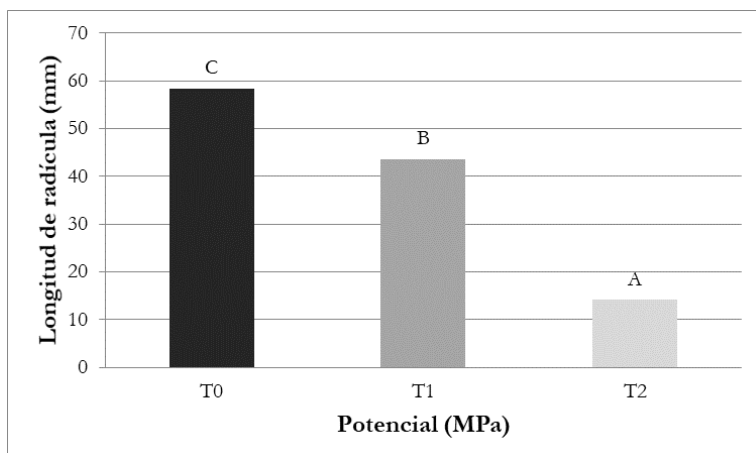


Figura 3. Longitud de la radícula (mm) de *M. sativa* cv. Salinera INTA incubadas en diferentes potenciales osmóticos generados por NaCl. Letras distintas indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

El impacto negativo de la sal sobre el crecimiento de las raíces podría estar relacionado a efectos iónicos y osmóticos (Lucero, 2017), los cuales intervienen en la absorción de agua y en procesos fisiológicos vitales. Sin embargo, las plantas pueden contar con diferentes mecanismos para tolerar la salinidad a nivel de raíces, como ser la absorción diferenciada de iones desde la rizosfera (Teakle y Tyerman, 2010), la compartimentalización de iones tóxicos como  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  en vacuolas celulares (Barkla *et al.*, 2008), la homeostasis iónica (Leidi y Pardo, 2002) y el ajuste osmótico (Meloni *et al.*, 2001).

La relación hipocótilo/radícula refleja de forma macroscópica los cambios metabólicos y bioquímicos que pueden producirse en la tolerancia al estrés salino en plántulas (Leidi y Pardo, 2002). El máximo valor para H/R fue de 0,43 y tuvo lugar en el tratamiento más estresante (-1MPa) (Figuras 4 y 5). A este nivel de salinidad, la raíz fue más fuertemente afectada en su crecimiento en comparación al hipocótilo (Figura 5). De ma-

nera similar a lo observado en *Coursetia caribaea* (Jacq.) Lavin, el valor máximo para la relación H/R se registró a  $-0,8$  MPa (Arcos, 2015), o que indica que la radícula fue más afectada por la sal a medida que disminuyó el potencial osmótico. Para Shalhevet *et al.*, (1995), la suspensión del alargamiento de órganos durante el proceso de ajuste osmótico ayudaría a conservar el estado de turgencia, lo que explicaría en parte el comportamiento observado en Salinera INTA en  $-1$ MPa. Por otro lado, el valor más bajo para la relación H/R (0,24) en  $-0,6$  MPa indica que la parte aérea fue más afectada a ese nivel de potencial osmótico. Esta respuesta morfológica podría considerarse como un indicador de tolerancia a los estreses por sal y por sequía, puesto que el mantenimiento de un sistema radical en profundidad permitiría escapar de las sales que se acumulan en la superficie del suelo debido a una elevada evapotranspiración propia de los ambientes semiáridos (Meloni, 2014).



Figura 4. Evaluación de parámetros morfológicos. Plántulas normales y anormales de *M. sativa* cv. Salinera INTA germinadas en solución de NaCl a  $-1$  MPa de potencial osmótico.

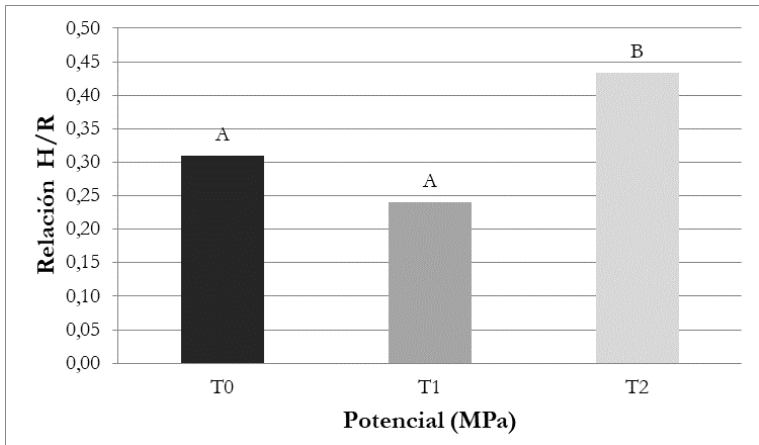


Figura 5. Relación Hipocótilo/Radícula en *M. sativa* cv. Salinera INTA incubadas en diferentes potenciales osmóticos generados por NaCl. Letras distintas indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

El cotiledón tuvo una respuesta semejante a la manifestada por la radícula en los diferentes tratamientos, con la salvedad de que la magnitud de los cambios producidos por la incidencia de la sal fue menor que la observada en el órgano subterráneo (Figura 6). La LC disminuyó un 33% respecto al control en el potencial más estresante (-1 MPa). El cotiledón mostró incluso una menor susceptibilidad que el hipocótilo a idénticos potenciales osmóticos. Otros cultivares de alfalfa estudiados por Castroluna *et al.*, (2014) se comportaron de manera diferente a la observada en Salinera INTA, puesto que en los cultivares Salina y DK 116 no mostraron cambios significativos para el largo de la hoja embrional, mientras que el cultivar Verdor aumentó de tamaño respecto al control, en concentraciones de 100 y 200 mM de NaCl.

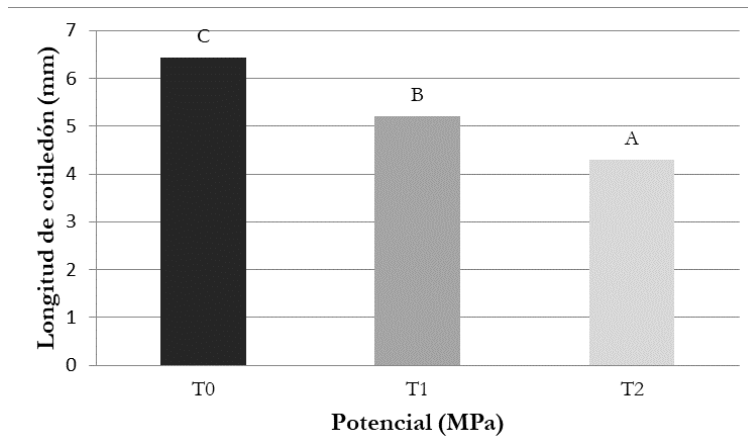


Figura 6. Longitud del cotiledón (mm) de *M. sativa* cv. Salinera INTA incubadas en diferentes potenciales osmóticos generados por NaCl. Letras distintas indican diferencia significativa ( $p < 0,05$ ).

Según Sánchez Méndez (2009), la salinidad es uno de los principales factores abióticos que afecta la elongación de las hojas. Sin embargo, la reducción en la LC manifestada por Salinera INTA a bajos potenciales osmóticos podría ser ventajoso para el vegetal, pues resulta en una menor área transpiratoria (Poljakoff Mayber, 1975) o en un proceso de ajuste osmótico por concentración de solutos (Hadiarto y Tran, 2011) que, en consecuencia, permiten mantener un elevado estatus hídrico en el cotiledón.

### Cuantificación de los parámetros anatómicos de las plántulas germinadas en medio salino

A nivel anatómico, la radícula tuvo un comportamiento variable de acuerdo a los tenores salinos. Respecto a los diámetros de radícula, cilindro central y el espesor del parénquima

cortical, se observa que el control (T0) es el de menor valor, mientras que T1 y T2 tienen mayores valores con diferencias significativas. Es notorio el incremento en el tamaño de las células de la corteza en las radículas de las plántulas estresadas (T1 y T2), respecto del control (T0); estos abultamientos sectorizados producen saliencias laterales en la corteza, por lo que afectan la circunferencia de la radícula (Tabla 2, Figura 7). El valor de concentración de NaCl en T1 indicaría que es el valor de tolerancia por el fenómeno de halosuculencia (Poljakoff Mayber, 1975). Esto es una respuesta al efecto osmótico de las sales: la raíz aumenta el tamaño de las células y, así, les otorga mayor capacidad de diluciones de los iones en la misma a los fines de contrarrestar el efecto tóxico de las sales (Garzón y García 2011).

Respecto al diámetro de los vasos xilemáticos, o lumen celular, se observa reducción en el tratamiento con la mayor concentración salina, marcando en este valor el límite de tolerancia para la germinación de este cultivo (Tabla 2). Tal como explican Garzón y García (2011), los vasos de diámetros más reducidos minimizan la conductancia vertical del agua; esto aumenta la capilaridad de los elementos xilemáticos y, así, evita una obstrucción por salinidad.

Tratamiento	DR	DCC	EPC	EPVX	LVX
T0	402.56 A	133.10 A	151.27 A	1.78 A	6.79 B
T1	526.87 B	180.31 C	180.70 B	2.53C	7.83 C
T2	491.43 B	150.69 B	168.99 B	2.20 B	4.55 A

**Tabla 2.** Parámetros anatómicos de radícula medidos en micrómetros. Test: LSD Fisher  $p < 0,05$ . Letras distintas indican diferencia significativa

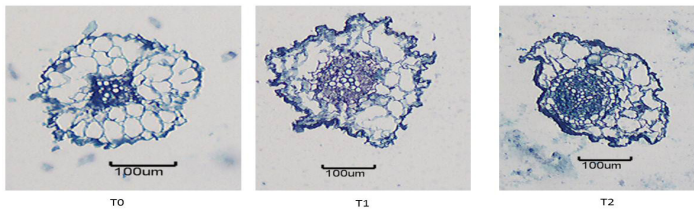


Figura 7. Corte transversal de radículas, M.O 10x

En los cotiledones se observaron resultados dispares (Tabla 3). En todos los parámetros estudiados, el menor valor estadísticamente significativo se presenta en T1. Tanto EPEm como EPEs tienen valores significativamente menores, respecto del control. En T2 se manifiesta desorganización tisular en el mesófilo, que se evidencia con menor compacidad y aumento de los espacios intercelulares, por lo que resulta en mayor tamaño de EL (Figura 8). Este comportamiento podría deberse a las invaginaciones que se producen, en parte por la desorganización del tejido y en parte podría deberse a la deshidratación de las células parenquimáticas del mesófilo, lo que trae como consecuencia mayor aumento de espesor (Garzón y García, 2011).

Tratamiento	EL	EPEm	EPEs
T0	521.33 B	251.25 C	198.46 C
T1	373.97 A	162.39 A	144.58 A
T2	488.59 B	207.15 B	174.38 B

Tabla 3. Parámetros anatómicos de cotiledón analizados con Test: LSD Fisher  $p < 0,05$ . Letras distintas indican diferencia significativa

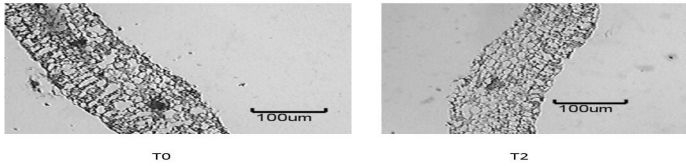


Figura 8. Corte transversal de cotiledón, M.O 10x

## Conclusión

De acuerdo con los resultados, se infiere que *M. sativa* cv. Salinera INTA es tolerante a la germinación producida en condiciones de estrés salino hasta una concentración de  $-0,6\text{MPa}$ , mientras que, a mayores concentraciones de NaCl, se produce una merma considerable tanto en la longitud de la radícula e hipocótilo como en la expansión de los cotiledones; esto afecta directamente al desarrollo esperado y productivo de las plantas.

La anatomía explica la razón de esta anomalía en el crecimiento de las plántulas, ya que cuando se la cultiva a valores superiores a  $-0,6\text{MPa}$ , en la radícula ocurren modificaciones que afectan la absorción del agua y, por consiguiente, se ve afectado el desarrollo de la plántula. Asimismo, el parénquima del mesófilo cotiledonal sufre desorganización e hipertrofia celular, los cuales impactan negativamente en la fotosíntesis y consiguiente crecimiento de la misma.

## Bibliografía

- Arcos, Nicolás S. (2015). *Modificaciones fisiológicas y anatómicas inducidas por estrés hídrico y salino durante la germinación y el crecimiento temprano de *Coursetia caribaea**. Trabajo final de intensificación para acceder al título de Ingeniero Agrónomo. FAyA. UNSE. Argentina.
- Barkla, B.; Vera, R.; Balderas, E. y Pantoja, O. (2008). "Mecanismos de tolerancia a la salinidad en plantas". En: F. Rebolledo y A. López, (eds.). *Una ventana al quehacer científico* (pp. 263 - 272) (en línea). México, D.F. México. Consultado el 3 de diciembre del 2019, en: [http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro\\_25\\_aniv/capitulo\\_23.pdf](http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/libro_25_aniv/capitulo_23.pdf).
- Basigalup, D.H. (2007). *El Cultivo de la Alfalfa en la Argentina*. Editor: Ing. Agr. (PhD) Daniel H. Basigalup EEA Manfredi – INTA. Ediciones INTA.
- Bhardwaj, S.; Sharma, N.K.; Srivastava, P.K. y Shulka, G. (2010). "Salt tolerance assessment in alfalfa (*Medicago sativa* L.) ecotypes". En *Botany Research Journal*. 3 (1), pp. 1 - 6.
- Cancio, H. (2016). *Cultivo de alfalfa*. Rio Negro, Argentina: Ediciones INTA.
- Castellanos, J.Z., Uvalle B., J.X. y Aguilar S., A. (2000). *Manual de interpretación de análisis de suelos y aguas*. Colección INCAP. (Segunda edición). San Miguel Allende, Guanajuato, México.
- Castroluna, A.; Ruiz, O.M.; Quiroga, A.M. y Pedranzani, H.E. (2014). "Efectos de la salinidad y sequía sobre la germinación, biomasa y crecimiento en tres variedades de *Medicago sativa* L". En *Avances en Investigación Agropecuaria*. 18 (1), pp. 39 - 50.
- Cornacchione, M.V. (2017). *Recuperación del cultivar Salinera INTA*. EEA Santiago del Estero, Argentina: Ediciones INTA.
- Cornacchione, M.V. (2019). "Avances sobre la tolerancia a la salinidad en alfalfa (*Medicago sativa*) y sus implicancias para el ambiente semiárido salino bajo riego: Desarrollo de un nuevo cultivar mediante mejoramiento genético conven-



- cional". *I Jornadas de Producción de Bovinos para Carne*, Santiago del Estero, Argentina. pp. 23 - 29.
- Degano, C.A.M. (1999). "Respuestas morfológicas y anatómicas en *Tessaria absinthioides* (Hook. Et. Arn.) DC. a la salinidad". En *Revista Brasileira de Botânica*. 22 (3), pp. 1 - 13.
- De León, M. (2004). "Ampliando la frontera ganadera". *Informe Técnico No. 1 - Proyecto Ganadero Regional - INTA EEA Manfredi*. Córdoba, Argentina.
- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; Gonzalez, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. (2018). "InfoStat versión 2018". Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Elliot, F.C.; Johnson, I.J. y Schonhorst, M.H. (1972). "Breeding for forage yield and quality". En: Hanson, C.H. (ed.). *Alfalfa Science and Technology*. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisconsin, pp. 319 - 333.
- Garzón, P. y García, M. (2011). "Efecto del estrés por NaCl sobre la anatomía radical y foliar en dos genotipos de frijol (*Vigna unguiculata* L. Walp.)". En *Bioagro*. 23 (3), pp. 153 - 160.
- González, D.P. (2007). *Tolerancia al estrés salino del vinal (Prosopis ruscifolia): germinación, crecimiento y ajuste osmótico*. Trabajo final de intensificación para acceder al título de Ingeniero Forestal. FCF.UNSE.
- González Romero, S.L. (2009). *Germinación de diferentes cultivos en condiciones de salinidad cuantitativa y cualitativa*. Tesis de Doctorado en Ciencias. Colegio de Posgraduados. México
- Gorai, M. y Neffati, M. (2007). "Germination responses of *Reaumuria vermiculata* to salinity and temperature". En *Annals of Applied Biology*. (151), pp. 53 - 59.
- Hadiarto, T. y Tran, L.S. (2011). "Progress studies of drought-responsive genes in rice". En *Plant Cell Rep.* (30), pp. 297 - 310.
- ISTA (2018). *International Rules for Seed Testing*. The International Seed Testing Association. Bassersdorf, Switzerland.
- Jamil, M.; Kyeong Bo, L.; Kwang Yong, J.; Deong Bae, L.; Mi Suk, H. y Eui Shik, R. (2007). "Salt stress inhibits germination

- and early seedling growth in cabbage (*Brassica oleracea capitata* L.)". En *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 10 (6), pp. 910 - 914.
- Johansen D.A. (1940). *Plant microtechnique*. Mc Graw-Hill Book Company. NY.
- Katerji, N., M. Mastrorilli, F.Z. Lahmer, and T. Oweis. (2012). "Emergence rate as a potential indicator of crop salt-tolerance". En *Eur. J. Agron.* (38), pp. 1-9.
- Lastiri Hernández, M.A.; Álvarez Bernal, D.; Soria Martínez, L.H.; Ochoa Estrada, S. y Cruz-Cárdenas, G. (2017). "Efecto de la salinidad en la germinación y emergencia de siete especies forrajeras". En *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 8 (6), pp. 1245 - 1257.
- Layne Garsaball, J.A.; Méndez Natera, J.R. y Mayz Figueroa, J. (2008). "Efecto de la salinidad y del tamaño de la semilla sobre la germinación y crecimiento de plántulas de maíz (*Zea mays* L.) bajo condiciones de laboratorio". En *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 11 (1), pp. 17 - 25.
- Leidi, E.O. y Pardo, J.M. (2002). "Tolerancia de los cultivos al estrés salino: que hay de nuevo". En *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias*. (2), pp. 69 - 90
- Lucero, C.C. (2017). *Respuestas fisiológicas a estrés salino e hídrico en Vitis vinifera L. (cv. Cabernet Sauvignon) sobre dos portainjertos*. Tesis de Maestría en Viticultura y Enología. Facultad de Ciencias Agrarias. UNCUYO. Maguire, 1962
- Meloni, D.A.; Oliva, M.A.; Ruiz, H.A. y Martínez, C.A. (2001). "Contribution of proline and inorganic solutes osmotic to adjustment in cotton under salt stress". En *Journal of Plant Nutrition*. (24), pp. 599 - 612.
- Meloni, D.A. (2014). *Respuestas fisiológicas de plántulas de Prosopis alba G. sometidas a estrés salino*. Tesis de Doctorado en Ciencias Forestales. FCF. UNSE.
- Munns, R. (2005). "Genes and salt tolerance: bringing them together". En *New phytologist*. (167), 645 - 663.
- Munns, R. y Tester, M. (2008). "Mechanisms of salinity toleran-

- ce". En *Annual Review of Plant Biology*. (59), pp. 651 - 681.
- Ochoa, L.H. (1990). *Alfalfa- Salinera INTA*. EEA Santiago del Estero, Argentina: Ediciones INTA.
- Odorizzi, A.S. (2015). *Parámetros genéticos, rendimiento y calidad forrajera en alfalfas (Medicago sativa L.) extremadamente sin reposo con expresión variable del carácter multifoliolado, obtenidas por selección fenotípica recurrente*. Tesis de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. FCA. UNC.
- Poljakoff Mayber, A. (1975). "Morphological and anatomical changes in plants as a response to salinity stress". En: A. Poljakoff Mayber. y J. Gale (eds.). *Plants in saline environment* (pp. 97-117). New York: Springer Verlag.
- Ripodas, I. (2003). "Alfalfa en la cuenca del salado". *Grupo Operativo Salado Sur, Unidad Operativa Cuenca del Salado*. [https://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_pasturas/pasturas\\_cultivadas\\_alfalfa/05-alfalfa\\_en\\_cuenca\\_del\\_salado.pdf](https://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_pasturas/pasturas_cultivadas_alfalfa/05-alfalfa_en_cuenca_del_salado.pdf)
- Sánchez Méndez, P. (2009). *Efecto del agobio salino en la acumulación de carbohidratos y su relación con el crecimiento en Phaseolus vulgaris L*. Trabajo final de intensificación para acceder al título de Biólogo. Facultad de Biología. UMSNH.
- Sandhu, D., Cornacchione, M., Ferreira, J. (2017). "Variable salinity responses of 12 alfalfa genotypes and comparative expression analyses of salt-response genes". En *Sci Rep*. (7), pp. 1 – 18.
- Santamaría César, J.; Figueroa Viramontes, U. y Medina Morales, M. del C. (2004). "Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el Distrito de Riego 017". En *Terra Latinoamericana*. 22 (3), pp. 343 - 349.
- Scasta, J., Trostle, C., Foster, M. (2012). "Evaluating Alfalfa (*Medicago sativa* L.) Cultivars for Salt Tolerance Using Laboratory, Greenhouse and Field Methods". En *Journal of Agricultural Science*. 4 (6).
- Shalhevet, J.; Morris, G.K. y Schroeder, B.P. (1995). "Root and shoot growth responses to salinity in maize and soybean". En *Agronomy Journal*. (87), pp. 512 - 516.

- Steppuhn, H., S.N. Acharya, A.D. Iwaasa, M. Gruber, and D.R. Miller. (2012). "Inherent responses to root-zone salinity in nine alfalfa populations". En *Can. J. Agric. Sci.* (92), pp. 235 – 248
- Taleisnik, E. y Laaunestein, D. (2011). "Leñosas perennes para ambientes afectados por salinidad. Una sinopsis de la contribución argentina a este tema". En *Ecología Austral.* (21), pp. 3 - 14.
- Teakle, N.L. y Tyerman, S.D. (2010). "Mechanisms of Cl- transport contributing to salt tolerance". En *Plant, Cell & Environment.* 33 (4), pp. 566 - 589.
- Zhu, J.K. (2001). "Plantsalttolerance". En *Trends in Plant Science.* (6), pp. 66 - 71.

## AVANCES EN ESTUDIOS ECONÓMICOS DEL ALGARROBO EN SANTIAGO DEL ESTERO

GABRIELA CARDONA<sup>1</sup>; JORGE GARCÍA<sup>2</sup>; SEBASTIÁN KEES<sup>3</sup>;  
VÍCTOR PÉREZ<sup>4</sup>; ROCÍO SÁNCHEZ UGALDE<sup>5</sup>; MIGUEL SARMIENTO<sup>6</sup>

### Resumen

La investigación se propone realizar un estudio de la rentabilidad financiera del *Prosopis alba* en la región chaqueña, con el cotejo de datos entre las provincias de Santiago del Estero, Formosa y Chaco; y obtener, en condiciones reales, una estimación de la rentabilidad de las plantaciones de *Prosopis alba*. En esta primera parte del estudio se establecieron los puntos o unidades de muestreo ubicados en diferentes lugares

1 Doctor. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero (Dir.)

2 Ingeniero. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

3 Ingeniero. EEA INTA Presidencia de la Plaza.

4 Doctor. Facultad de Recursos Naturales. UNAF.

5 Licenciada en Economía. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

6 Doctor. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero

del Parque Chaqueño, mediante el análisis de las labores y operaciones forestales con base en la medición y estimación de los coeficientes técnicos de las operaciones manuales y mecanizadas. Terminada esta etapa, se calculó el costo de producción de plantines a partir de la valuación del capital de un vivero certificado por el INASE. Por último, para acercarle una posible retribución adicional al productor se analiza el ingreso por cosecha de vainas (frutos) en pequeñas plantaciones.

Palabras clave: Tiempos operativos, Costos, Ingresos, *Prosopis alba*, Vainas

### Abstract

The research proposes to carry out a study of the financial profitability of *Prosopis alba* in the Chaco Region, comparing data between the Provinces of Santiago del Estero, Formosa and Chaco; and obtain in real conditions, an estimate of the profitability of the *Prosopis alba* plantations. In this first part of the study, the sampling points or units located in different places of the Chaqueño Park were established; analyzing forestry work and operations, measuring and estimating the technical coefficients of manual and mechanized operations. After this stage, the cost of seedling production was calculated from the capital valuation of a nursery certified by INASE. Finally, to bring a possible additional remuneration closer to the producer, the income per harvest of pods (fruits) in small plantations is analyzed.

Keywords: Operating times, Costs, Income, *Prosopis alba*, Vainas

## Introducción

Algunos de los interrogantes que se presentan a la hora de pensar en una actividad forestal son: ¿Es rentable forestar? ¿Cuál es el costo? ¿A cuánto asciende la inversión que se debe realizar? ¿Cuál es finalmente el ingreso que se obtiene? Para muchas de estas preguntas todavía no se tiene una respuesta precisa en nuestra región.

En la actualidad, la actividad forestal se presenta en el centro del debate nacional por ser considerada un sector estratégico para el desarrollo sostenible del país, que necesita adecuarse a mejores prácticas y alinearse hacia los desafíos globales ambientales del Plan Estratégico de Naciones Unidas para el Desarrollo Sostenible de los Bosques, cumpliendo así los objetivos propuestos en la Agenda 2030 (Escobar 20/01/2018). Para garantizar el éxito de las actividades forestales, ya sea a nivel económico y de productividad, entre otros, se requiere un desarrollo adecuado en las labores, donde es necesario que las actividades se realicen con la mayor calidad posible, en condiciones óptimas y estén basadas en estándares de productividad y en rendimientos eficientes que minimicen los costos y maximicen el rendimiento. La necesidad del productor de conocer y calcular el costo en las actividades forestales exige disponer previamente de datos técnicos de tiempos operativos y rendimiento de las diferentes actividades.

La presente investigación, enmarcada en el Proyecto Código 23/B 153 del sistema de Ciencia y Técnica de la UNSE, se propone realizar un estudio de la rentabilidad financiera del *Prosopis alba* en la provincia de Santiago del Estero, con el co-tejo de datos de las provincias de Formosa y Chaco, abarcando parte del Parque Chaqueño.

## Primera Parte: Tiempos Operativos En Plantación

Para garantizar el éxito de las actividades forestales, ya sea a nivel económico y de productividad, entre otros, se requiere un desarrollo adecuado en las labores, tareas y operaciones. Es necesario, entonces, que las actividades se realicen con la mayor calidad posible, en condiciones óptimas y estén basadas en estándares de productividad y en rendimientos eficientes que minimicen los costos y maximicen el rendimiento.

En 2018, la Asociación Forestal Mesopotámica (AFOME) aseguró que el Estado, a través de la Ley Nacional N° 25.080, se asocia especialmente con el sector privado para desarrollar una actividad que, por separado, no podría realizarse (Escobar 30/01/2018). Con esta mirada se puso en marcha el Programa Forestal Santiagueño (PFS), durante el año 2017, convocando a pequeños y medianos productores, para la recuperación de suelos degradados, con el incentivo de duplicar y hasta triplicar zonas en recuperación y producción con *Prosopis alba* (algarrobo blanco).

Las áreas en las que se ejecuta el proyecto corresponden a Bosques de Categoría III de bajo valor de conservación y zonas categorizadas de No Bosques, de la Ley Provincial N° 6.942 de Ordenamiento Territorial de los Bosques Nativos de Santiago del Estero, en adhesión a la Ley Nacional N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos.

En cuanto a los antecedentes sobre el tema, se puede decir que, para la provincia de Santiago del Estero, son escasos los estudios sobre tiempos operativos, rendimientos y costos forestales. Se podría afirmar que el antecedente más relevante es el Renolfi et al. (2010), que presenta un estudio de tiempos operativos de cada una de las tareas para el cálculo de costos de plantación de *Prosopis alba* en la zona de riego de Santiago del Estero. A nivel nacional, se pueden mencionar algunos an-



tecedentes sobre este tema, como el de Vera y Larroca (2004), que presenta la estructura de costos de implantación de un monte de eucalipto con base en dos escenarios de suelo y que constituye un trabajo en el que se efectúa un minucioso estudio de tiempos operativos de las tareas. El INTA Montecarlo (2008) realizó un relevamiento de las formas más frecuentes de preparación de terreno, plantación y mantenimiento hasta lograr una plantación forestal en la provincia de Misiones. (Colcombet, L. 2008)

Para integrar la muestra de estudio fue necesario identificar los productores que el PFS tenía ya visado y con la firma del contrato respectivo. En esta etapa del relevamiento, se decidió seleccionar para el estudio a seis productores que presentaron planes para forestar con algarrobo y que están incluidos en la categoría de pequeños, con lo que representan el 40% del total de productores asistidos por el programa durante este periodo y el 34% de hectáreas forestadas.

Los datos recogidos corresponden a la operación de preparación de sitio y plantación; se hace necesario resaltar que el PFS es el que establece bajo contrato con cada productor las tareas que se llevarán a cabo y que se encuentran cubiertas por el mismo. Los cuidados culturales quedan bajo la responsabilidad del productor. Cabe acotar que el trabajo de plantación fue tercerizado por dos cuadrillas, con modalidades de trabajo diferente.

La toma de datos se realizó utilizando la técnica de observación directa y con base en el siguiente escenario modal: superficies de hasta 10 ha en las que se foresta con algarrobo y donde la historia previa de uso consigna que se trata de terrenos agrícolas en descanso, o bien, suelos salitrosos. La plantación se realizó con una densidad de 500 plantas por ha, con distanciamiento de 4m x 5m. El nivel técnico de las labores realizadas es de grado mixto: manual-mecánico. El jornal de trabajo es de 8 horas/día, las actividades que se midieron son

las correspondientes a la plantación y comprenden las siguientes operaciones:

1. Preparación del suelo: proceso de rolado y rastreado.
2. Plantación: marcación, hoyado, distribución de plantas y plantación propiamente dicha.

No se realizó la medición de cuidados culturales como limpieza y control de hormigas, ya que el programa no contempla estas actividades, como se explicó anteriormente.

Si bien la lista de labores y las prácticas de manejo son similares a las desarrolladas en otros lugares, se observaron variantes en algunas de las tareas que realizan los productores de la muestra, en particular aquellas vinculadas con el modo de organizar la preparación del terreno, la marcación y la apertura de hoyos.

La tarea de plantación fue delegada a dos cuadrillas integradas entre 7 y 11 operarios sin experiencia en actividades forestales.

Según Hodson (2001), el estudio de tiempos es el procedimiento utilizado para medir el tiempo requerido por un trabajador calificado quien, trabajando a un nivel normal de desempeño, realiza una tarea conforme a un método especificado.

Los estudios de tiempos y movimientos juegan un papel importante en la productividad de cualquier empresa. Medir y establecer cuánto tiempo se invierte en el trabajo permite identificar aquellas tareas que pueden influir de manera negativa en el rendimiento de la compañía y, así, diseñar estrategias para corregirlas. Además, es útil para solucionar los problemas en la ejecución del proceso, conocer la capacidad de los operarios, organizar los puestos de trabajo y aprovechar eficientemente los materiales y la maquinaria. (Pinilla, 2014).

Cada actividad fue filmada con el fin de tener una total dimensión de la tarea. Luego, esta era cronometrada de manera precisa en gabinete diferenciando cada tiempo mediante técnica de cronometría con vuelta cero. Para cada tarea a medir

se efectuó la descripción de la misma y el diseño de planilla más apropiada a cada caso (Pinilla, 2014). Para la medición del tiempo propiamente dicho, se tuvo en cuenta lo expresado por Brenes Bonilla (2004, citado por Renolfi et al., 2010), "la medición del tiempo requerido en cada actividad debe aplicarse únicamente cuando la labor es ejecutada por un obrero sin limitaciones físicas y con capacitación para ejecutar la labor (un trabajador promedio)".

Para cronometrar y determinar los tiempos operativos de trabajo de las diferentes tareas se debió seleccionar una por vez y efectuar la toma del tiempo a los diferentes operarios que realizaban la misma con movimientos repetitivos. El cronometraje se realizó en forma aleatoria, en las dos cuadrillas, en distintos momentos de la jornada laboral y a diferentes operarios, a fin de recoger las variaciones en el rendimiento de trabajo. El número de observaciones a cada operario fue de 10 mediciones continuas por vez, con 2 repeticiones durante la jornada, con excepción de las labores sin movimientos repetitivos como la rastreada y el rolado.

Como principales resultados de esta primera etapa, se presentan en la Figura 1 los tiempos obtenidos para cada actividad medidos en hectáreas por hora

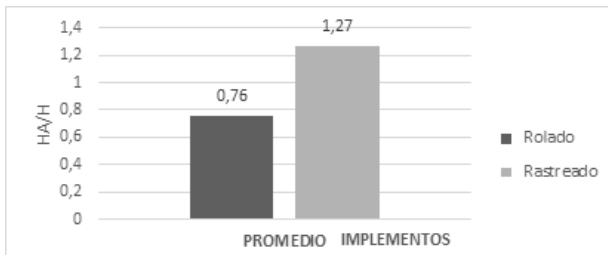


Figura 1. Rendimiento promedio de preparación de sitios de plantación según proceso utilizado.

Fuente: Elaboración propia.

Para la preparación del suelo, en algunos sitios, se aplicó el proceso de rolado y en otros la rastreada. En ningún sitio analizado se realizaron ambas actividades (que suelen ser complementarias). El tipo de implemento a utilizar para la preparación del suelo depende de las condiciones iniciales del terreno, por lo cual no podemos inferir que uno es más eficiente que otro. En cuanto a las actividades vinculadas directamente con la plantación, los tiempos promedio por hectárea fueron los siguientes (Figura 2):

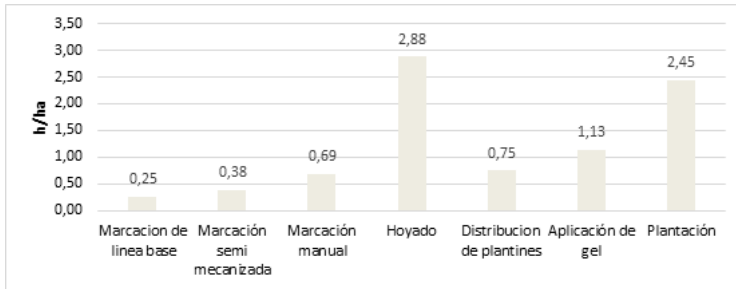


Figura 2. Tiempo promedio de ejecución por actividad<sup>7</sup>.

Fuente: Elaboración propia.

En el gráfico de la figura 2 se puede observar que las actividades de plantación que más tiempo demandan son el hoyado y la plantación propiamente dicha. En cuanto a la marcación de las líneas de plantación, el método manual insume un 81% más de tiempo que el método semimecanizado, el cual es más impreciso en cuanto a la alineación lograda.

En referencia a los tiempos promedio de desarrollo de cada actividad (marcación, hoyado, distribución de plantines, apli-

<sup>7</sup> El tiempo está medido en fracción de horas por hectárea, donde por ejemplo 0,25 de marcación de línea base corresponde a un cuarto de hora.

cación de gel y plantación), las cuadrillas mostraron algunas diferencias, como lo muestra la Figura 3. La cuadrilla 1 fue más eficiente en las actividades de marcación manual y hoyado, mientras que la cuadrilla 2 fue más eficiente en la colocación de gel, distribución de plantines y plantación.

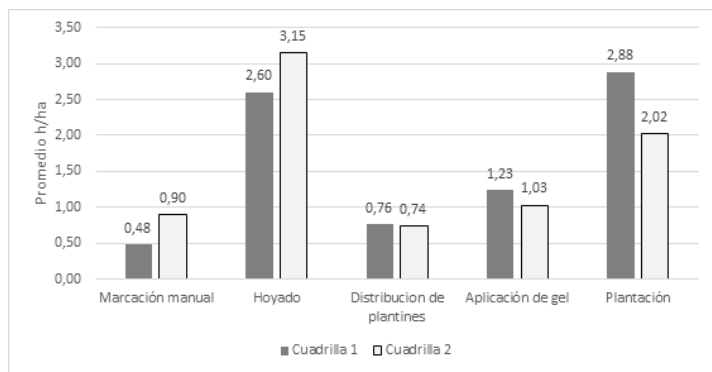


Figura 3. Tiempo promedio de ejecución por actividad, según cuadrilla.

Fuente: Elaboración propia.

Hay que tener en cuenta que la actividad de hoyado está sujeta a las condiciones iniciales del suelo, lo que hace que la actividad pueda llevar más o menos tiempo.

Como principales conclusiones, se podría decir que para la preparación del suelo el implemento a utilizar va a depender de las condiciones iniciales del mismo. Para la marcación de las líneas de plantación el método semimecanizado es más rápido que el manual, pero más impreciso para lograr una alineación correcta.

En cuanto a la colocación del gel hidratante, no se mostraron diferencias de rendimientos significativas con respecto a las metodologías utilizadas por las cuadrillas, pero cabe resaltar que el llenado de baldes usando el tanque cisterna con

remolque, tal como lo hace la cuadrilla 1, resguarda ergonómicamente la salud de los operarios ya que no tienen que realizar grandes esfuerzos al subir y bajar a la caja del camión, sumado al esfuerzo que concierne sacar el balde cargado de agua desde la cisterna, actividad que produce un desgaste físico mayor.

Las actividades de plantación que emplean un mayor tiempo de realización por hectárea son el hoyado y la plantación en sí. El tiempo que conlleva la actividad de hoyado depende de cómo se encuentre el suelo en cuanto a la presencia de residuos derivados de la limpieza del terreno. Suelos más limpios llevan a menores tiempos operativos en la realización de pozos. Con relación a esto, solo se observó mayor tiempo de operación en la actividad de poceado, donde el suelo se encontraba con residuos derivados de la actividad de rolado, por lo cual antes de realizar el pozo era necesario hacer una previa limpieza manual que fue considerada en el tiempo operativo de esa actividad.

Como recomendación en esta primera etapa, se sugiere realizar una combinación de acciones desarrolladas por cada cuadrilla en la que son más efectivas para lograr un mejor rendimiento promedio en las actividades de plantación. Como acciones combinadas para lograr una mayor eficiencia técnica, se pueden asociar la marcación mecanizada, tal como fue hecha por la cuadrilla 1 con ajuste previo de la metodología para lograr una correcta alineación —si es que los fines mismos de la plantación lo justifican—, con las actividades de distribución de plantines, colocación de gel hidratante y plantación de la forma en que lo realizó la cuadrilla 2.

## **Segunda parte: producción de plantines**

Los vacíos de información actualizada en el sector forestal en la provincia de Santiago del Estero (Argentina) motivaron

a la realización del presente trabajo, para el cual se consideró oportuno la medición de variables para el cálculo de costos de producción de plántulas de *Prosopis alba* que fueron generados en el marco del Programa Forestal Santiaguense (PFS).

Desde la ejecución del PFS, en lo que respecta a la campaña 2017-2018, se plantaron aproximadamente 200 hectáreas en la provincia, que equivalen a 100.000 plantas de *Prosopis alba* (Silva Torres *et al.*, 2018), considerando una densidad de 500 plantas por hectárea con un espaciamiento de 4 m x 5 m. Estas plantaciones promovidas por el PFS llevaron a que los viveros certificados de la provincia produjeran plántulas para poder abastecer estas necesidades planificadas de plantación; fueron tres los viveros que participaron como proveedores. En la presente investigación se analiza un estudio de caso en un vivero ubicado en la localidad de La Abrita, del departamento Silípica en Santiago del Estero, a 26 kilómetros de la ciudad Capital de esta provincia. El objetivo en esta parte del trabajo es calcular el costo unitario promedio de producción de cada plántula de *Prosopis alba* en este vivero, el cual produjo unos 40.000 plántulas para la campaña 2017-2018 del PFS.

Para efectuar los cálculos correspondientes, se aplicó la metodología de valuación del capital (Frank, 1995), considerando el capital con el que cuenta el vivero analizado. Esta metodología es muy utilizada en valuación de capital para emprendimientos con fines agropecuarios, como lo muestran trabajos de Ghida Daza (2009) y Engler *et al.* (2016). En la actividad forestal este tipo de metodología fue aplicada en los trabajos de Hernández *et al.* (2015), en los que se resalta que la producción del vivero debe ser competitiva en costos y que también debe garantizar que las plántulas tengan los atributos morfológicos y fisiológicos adecuados para que se adapten en forma satisfactoria al sitio de plantación definitiva. Sin embargo, es a menudo muy difícil decidir la mejor combinación de insumos para lograr los resultados más deseables, eficaces y

de costo adecuado en el proyecto de forestación o reforestación. Son escasos los estudios que utilicen la metodología de costos históricos en viveros forestales, por lo que esta vacancia dificulta las comparaciones y discusiones con otros autores.

Para la recolección de información se seleccionó a uno de los tres viveros que participaron como proveedores de plantas en el PFS. El vivero seleccionado está inscripto en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y fue quien tuvo una mayor participación en la producción de plantines en la campaña 2017-2018 del PFS

La metodología del trabajo consistió en tres pasos fundamentales: i) hacer un inventario del capital que posee el establecimiento analizado y clasificarlo de acuerdo al tipo de capital de que se trate; ii) efectuar la valuación del capital y, finalmente; iii) efectuar los cálculos de los costos según la metodología propuesta por Frank (1995) y por Zehnder y Borga (1999) para calcular costos.

Dentro de los principales resultados, se detalla y clasifica el capital con el que contaba el vivero "Foresto Terra" en el momento en que se efectuó la producción de plantines para el PFS correspondiente a la campaña 2017-2018. Se efectuó la valuación del capital y se tuvieron en cuenta los precios de mercado local del capital correspondientes al mes de agosto del año 2018. Los valores obtenidos fueron convertidos a dólares estadounidenses según la cotización al 28 de agosto de 2018 de \$32,18 por dólar. Se realizó la conversión de moneda debido a la alta volatilidad de los precios internos.

En términos generales, se encontró que el capital con que cuenta la empresa para producir los 40 mil plantines ronda en US \$44.455,06 (dólares estadounidenses).

La incidencia en el capital según clasificación se resume en la Figura 4, en la que se observa que la mayor participación en el capital total corresponde al capital fundiario (tierra más mejoras), del que se logra un porcentaje del 81,2%.



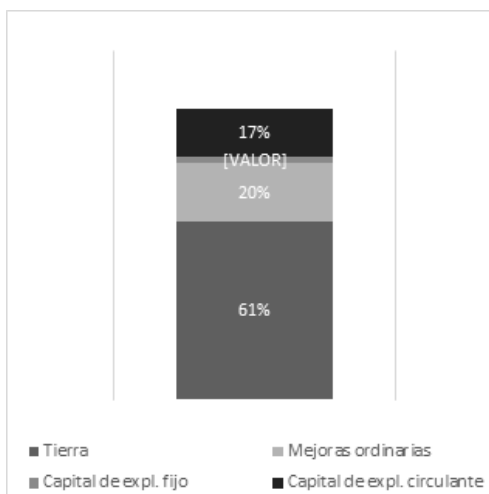


Figura 4. Porcentaje de participación en la valuación del capital según tipo de capital.

Fuente: Elaboración propia

Dentro de las mejoras ordinarias, el 94% corresponde a la valuación de la oficina y galpón, lugar dispensable para utilizar de depósito. Según estas consideraciones, el costo de producción de 40.000 plantines asciende a US\$ 11.943,25 (dólares estadounidenses), lo que arroja un costo unitario de US\$ 0,30 por plantín de *Prosopis alba*. La participación de cada componente del costo se distribuye como se indica en las Figuras 5 y 6.

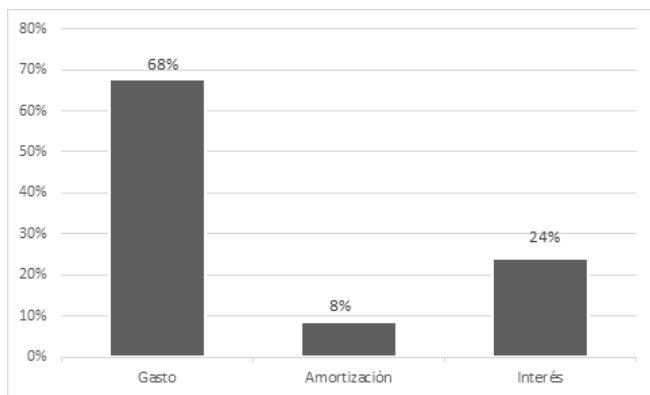


Figura 5. Porcentaje de participación en los costos según componente.

Fuente: Elaboración propia.

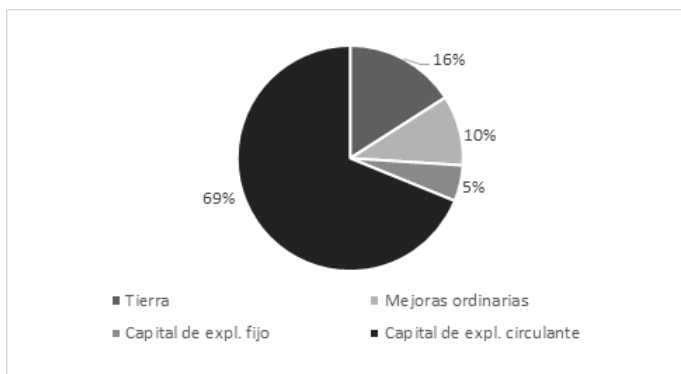


Figura 6. Porcentaje de participación en los costos totales según tipo de capital.

Fuente: Elaboración propia.

Como puede observarse en la figura 6, la mayor incidencia de los costos se concentra en el capital circulante, el cual ocupa más de dos tercios del costo total.

Dentro del capital circulante, los costos se concentran principalmente en lo que respecta al personal ocupado y sus correspondientes cargas sociales, con una incidencia del 77,4%.

Si se considera un costo unitario por plantín de US\$ 0,3 (dólares estadounidenses) y se tienen en cuenta las tasas de rentabilidad de una inversión bancaria (plazo fijo), que en agosto del 2018 rondaban el 32,4% (TNA)<sup>8</sup>, se espera que la producción de plantines de *Prosopis alba* genere una rentabilidad de aproximadamente un 45% debido al riesgo de la actividad. El precio de venta del plantín para ser retirado del vivero debería fijarse en al menos US\$ 0,43 (dólares estadounidenses). Si bien este puede ser considerado un precio de referencia, coincide a su vez con el precio que actualmente cobran los otros viveros de la provincia cuando efectúan una venta al por mayor.

Con estos valores, la ganancia anual unitaria sería de US \$0,13, lo que llevaría a que la producción de 40.000 plantines genere aproximadamente US \$5.110,8 como utilidades anuales.

Las conclusiones más importantes de esta segunda parte, se podría resumir en que el capital con que cuenta la empresa es apto para la producción anual de 40.000 plantines de acuerdo con la capacidad instalada que posee mientras realiza la producción. Debido al ciclo de producción (solo 3 meses), se podrían utilizar las instalaciones para producir otra especie en contraestación, con el fin de bajar los costos.

Dentro del capital fundiario, el valor de la tierra representa un 61% de la valuación final de su capital, por lo que resulta importante su preservación.

El precio recomendado para la venta se toma teniendo como parámetros las tasas bancarias (con aproximadamente un 45% de sobreprecio) y el precio de la competencia local.

8 Tasa nominal anual (TNA) según Banco Central de la República Argentina en la fecha 28 de agosto de 2019.

Este porcentaje varía según la situación y la cantidad producida.

### 3. Tercera parte: recolección de vainas (producto no maderero)

Según Silva (2000), el género *Prosopis* es considerado un importante recurso alimenticio humano y animal en regiones de condiciones áridas y semiáridas del mundo. Argentina ha sido identificada como el centro de diversidad de este género, del que se revela un amplio uso en la alimentación humana y animal y como combustible (Felker y Bandurski, 1979, citado por Silva, 2000). Sarmiento (2017) expresa que la producción de los frutos es constante mientras existan masas boscosas en pie y que la demanda de los bienes está asegurada por cuestiones socioculturales.

Como primer producto no maderero dentro de este proyecto se tuvo en cuenta a las vainas de algarroba; de esta forma, el productor podría contar con ingresos anuales proporcionados por su plantación. Este alimento regional posee gran importancia debido a sus valores y aportes nutricionales, además de constituir un alimento reconocido y usado en la gastronomía de nuestros antepasados (Nuevo Diario 11/01/2020).

Una costumbre muy popular en el noroeste argentino es la "algarrobeada", práctica que consiste en cosechar en forma colectiva la chaucha (algarroba) durante la estación estival (Gordillo, 2006). Grados y Cruz (1996) señalan que la recolección de vainas de algarroba es comúnmente realizada por niños y mujeres como una actividad paralela a sus tareas agrícolas.

Si bien existen algunas investigaciones sobre costos de tareas silvícolas en plantaciones de algarrobo blanco, aún se sabe poco de los ingresos monetarios que pudiere generar la venta de productos no madereros. El creciente interés sobre las propiedades de la algarroba en estos últimos tiempos ha

acentuado la necesidad de conocer la productividad de esta especie y la renta que podría generar a propietarios de bosques con algarrobo (Silva, 2000).

Pocos estudios han abordado los aspectos económicos en cuanto a la rentabilidad que podrían generar las plantaciones de algarrobo blanco en el Parque Chaqueño.

El propósito de esta parte de la investigación es el de estimar de forma cuantitativa el rendimiento de frutos de una plantación de *Prosopis alba* y determinar posibles ingresos por la venta de vainas.

Como antecedentes locales sobre análisis económico de cosecha de vainas, cabe destacar el estudio realizado por Ewens y Felker (2010). Estos autores demostraron que ensayos de plantaciones experimentales de clones de algarrobo blanco en la localidad de Fernández, en el departamento Robles en la provincia de Santiago del Estero, son capaces de producir 5.000 kg de vainas por hectárea. Otros autores como Arce *et al.* (2011) estiman un rendimiento que ronda en los 2.000 kg/ha/año.

La investigación se enmarca en la localidad de Colonia El Simbolar, departamento Robles, a 86 km de la ciudad capital de la provincia de Santiago del Estero. Esta se encuentra ubicada dentro de lo que constituye el área de riego de la provincia de Santiago del Estero. Allí se alberga la mayor concentración de plantaciones de *Prosopis alba* que datan del año 2006/2007, considerada polo forestal de plantaciones de algarrobo blanco. La colonia cuenta con un total aproximado de 900 ha forestadas de casi 100 productores (Arce *et al.*, 2013). Con base en el último censo poblacional realizado por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, esta localidad alberga a 4.197 habitantes (INDEC, 2010).

La muestra de estudio fue del tipo intencional en función de las áreas que estaban siendo aprovechadas. Se procedió a identificar sitios con abundantes vainas de algarroba bajo su

dosel para su posterior cosecha. La recolección de frutos se llevó a cabo en bolsas de arpillera tipo azucarera y su pesaje se efectuó en la sala de acopio (Cooperativa Apícola Agrícola Agro Naciente).

Las unidades experimentales fueron 4 lotes de entre 3 a 7 hectáreas cada uno, con plantaciones puras de algarrobo blanco y 2 lotes donde se ubican unidades económicas familiares con árboles dispersos de algarrobo. En ambos casos se usó la misma cantidad de mano de obra y de herramientas.

Las plantaciones estudiadas tienen una edad de 13 años, con un marco de plantación de 4 m x 4 m y una densidad de 625 pl/ha. Los árboles de las unidades económicas familiares muestreados poseen edad y distribución espacial heterogénea.

La recolección de vainas para este estudio se llevó a cabo de forma manual durante dos jornadas consecutivas a fines del mes de diciembre de 2019; el procedimiento de cosecha evidenció lo expresado por Felker (2002) y Martínez (2015).

El registro de tiempos y de productividad en la recolección se efectuó mediante técnica de observación directa. La medición de tiempos de cosecha fue realizada con cronómetro de precisión durante el lapso de una hora por muestra. El posterior pesaje fue ejecutado con una báscula de piso digital.

La toma directa de datos consistió en observar, describir y medir *in situ* la productividad de trabajo de cosecha, con posterior pesaje de las bolsas (tacos) en el área de acopio.

Para estimar la productividad se relacionó la cantidad de vainas cosechadas por unidad de tiempo (kg/hora) y la cantidad de vainas producidas por árbol (kg/árbol).

La cuadrilla de cosecha estuvo conformada por tres recolectores. Las herramientas utilizadas para esta labor estuvieron limitadas solamente a baldes de 10 litros y bolsas de arpillera. Las vainas del suelo, ya maduras, fueron recolectadas de manera manual y depositadas en los tachos. Ocasionalmente, se procedía a la cosecha directamente del árbol. Una vez que los

recipientes estaban llenos, se depositaba la carga en bolsas de arpillera ubicadas en el centro del predio. Finalizada la actividad en el lote, la carga era transportada hacia la playa de acopio.

El diseño de muestreo en bosques implantados consistió en tomar datos de dos parcelas de 96 m<sup>2</sup> (12 m x 8 m) con un total de 9 árboles cada una, mientras que en los predios de las unidades económicas familiares las muestras comprendían a todos los árboles ubicados en el predio.

Algunos resultados ponen en evidencia que la productividad de cosecha en bosques puros de algarrobo oscila entre 7-16 kg/h/hombre y el rendimiento por árbol varía entre 7-11 kg/árbol, mientras que la productividad de cosecha en predios de hogares varía entre 10-18 kg/h/hombre y el rendimiento por árbol fluctúa entre 11-15 kg/árbol.

Teniendo en cuenta el aporte medio de vainas por árbol en plantaciones puras de algarrobo, y con una proyección de rendimiento por hectárea del 50% de la densidad total de árboles, se puede estimar un rendimiento de frutos en un valor de 2.777 kg/ha (8,9 kg x 312 árboles).

El volumen de chauchas de algarrobo recogidas en las distintas unidades económicas fue sumamente variable; sin embargo, el rendimiento, como es de esperar, fue mayor en las unidades económicas familiares, donde las posibles causas de esta variabilidad pueden ser el tamaño y edad de los árboles, la destreza de los recolectores, la distancia a la fuente de aprovisionamiento, la distancia entre árboles que permite tener un mayor volumen de copa, entre otros factores. Otro aspecto importante que influye en la productividad es el referido a las condiciones meteorológicas de la región; este punto es de relevancia cuando se compara la productividad interanual entre una cosecha y otra.

Según algunos casos expuestos por propietarios de plantaciones, cuando la cosecha no es llevada a cabo por el propio productor, existe la posibilidad de contratar mano de obra para

la actividad. Lo que suele cobrarse para esta tarea ronda en los \$3/kg. Luego el productor se encarga de vender a \$5/kg al centro de acopio, para obtener así una ganancia neta de \$2/kg. Estos son datos extraídos de la campaña de recolección 2019-2020 (Cooperativa Apícola Agrícola Agro naciente). El trabajo descrito en este documento demuestra que el ingreso anual por venta de vainas alcanzaría para cubrir el costo de limpieza del lote con rastra (2.500 \$/ha) y a su vez generar un excedente de \$ 3.054.

Con base en las mediciones realizadas durante los dos días de estudio, se pudo recolectar la cantidad de 5.300 kg de vainas de algarrobo procedentes de predios de hogares y lotes con forestaciones, aproximadamente \$ 26500. En Colonia El Simbolar se fija la tonelada en valores cercanos a \$5.000 equivalente a US \$ 60 (Tipo de cambio 1 USD=82 Pesos Argentinos: 18/02/2020).

Estos resultados son comparables a los obtenidos por Arce *et al.* (2011), quien estima una productividad de las plantaciones de algarrobo de la Colonia El Simbolar en 2.000 kg/ha, en contraste a los 2.777 kg/ha estimados en esta investigación 9 años después en las mismas plantaciones. Es de esperar que, si se realiza un raleo, la productividad aumente aún más con el paso del tiempo.

Por otro lado, Ewens (2010), en la Estación Experimental Fernández, en Santiago del Estero, una plantación con un espaciamiento de 10 m x 10 m y densidad de 100 árboles/ha, al séptimo año arrojaron un rendimiento de 5.000 kg/ha, es decir, un promedio de 50kg/árbol.

Doods (2006) menciona que, si el objetivo principal de la plantación es la producción de vainas, se deberá promover un buen desarrollo de copas y evitar el entrecruzamiento, lo que lleva a plantearse la idea de utilizar densidades de 400 árboles por hectárea, aproximadamente. A su vez, este autor considera que para estimaciones económicas se recomienda trabajar



con un promedio de 25 kg de vainas por árbol (Doods, 2006, citado por Bendek, 2007). Se ha demostrado en estudios previos como el de FAO (1997) que la producción promedio de vainas por árbol oscila entre 20 y 40 kg. Sin embargo, los resultados promedios presentados aquí se encuentran por debajo de esos valores de referencia. Esto es quizás el reflejo de la falta de manejo de las plantaciones para fines productivos. Desde el punto de vista económico, experiencias en Perú mencionan que una tonelada métrica de vainas cuesta US \$27. En contraste a nuestra área de estudio, Colonia El Simbolar fija la tonelada en valores cercanos a \$5.000 equivalente a US \$ 60 (Tipo de cambio 1 USD=82 Pesos Argentinos: 18/02/2020).

Grados *et al.* (1996) declara que una persona puede recolectar alrededor de 150 kg de vainas en un día. Estos valores son cercanos a los encontrados en este estudio; si extrapolamos la productividad media de cosecha de árboles aislados durante 8 h de trabajo, la recolección diaria rondaría en el orden de 112 kg (14 kg x 8h).

Investigaciones realizadas por Figueroa *et al.* (2006) en localidades próximas a Añatuya (Santiago del Estero) señalan que una persona para la recolección de un 1 kg de vaina demanda un tiempo de entre 5 min y 10 min. Es decir, en una hora de trabajo una persona puede cosechar entre 6 y 12 kg. Estos valores son comparables a los encontrados en nuestro estudio, en el cual concluimos que en promedio un recolector puede cosechar entre 10,5 kg/h/ (plantaciones puras) y 14 kg/h (predios de hogares).

Como principales conclusiones se pone de manifiesto que la productividad de cosecha en plantaciones está altamente influenciada por el estado de los lotes. Cualquier plantación forestal proyectada con fines productivos (vaina/madera) requiere un manejo silvícola. En suelos limpios y sin malezas la actividad es más eficiente. Los lotes con vainas muy secas, al ser más livianas, retrasan la recolección por kilogramo, por lo tan-

to, estos sitios son los menos preferidos por los recolectores.

Es un desafío de todos los actores del sector forestal demostrar las potencialidades que ofrecen las plantaciones de algarrobo blanco no solo desde el punto de vista ecológico sino también económico y social.

## Bibliografía

- Arce Leandro; Billela Pablo; Lucero Alejandra. (2014). "¿De productores agrícolas a forestales? El caso de la Colonia El Simbolar, departamento Robles, Santiago del Estero". *Revista Producción Forestal*. (10), p. 12.
- Bendek Rogelio. (2007). Factibilidad técnico-económica de generar productos alimenticios a partir del fruto de Algarrobo Chileno (*Prosopis chilensis* Mol. Stuntz) para la alimentación humana o animal. Tesis de grado (pp. 11-15).
- Capparelli Aylen; Lema Veronica. (2011). "Recognition of post-harvest processing of algarrobo (*Prosopis* spp.) as food from two sites of Northwestern Argentina: ethnobotanical and experimental approach for desiccated macroremains". *Archaeol Anthropol Sci*. 3 (1), pp. 71-92.
- Cardona Gabriela, Sánchez Ugalde Rocio, García Jorge, Sarmiento Miguel, Veliz Álvaro, Vega Camila. (2018). "Metodología para determinar tiempos operativos de implantación de *Prosopis alba* en Santiago del Estero". *Revista Quebracho*. 26 (1, 2), pp. 79-89.
- Colcombet Luis. 2008. "Coeficientes técnicos para lograr plantaciones y podas forestales en Misiones y Noreste de Corrientes". XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales. Facultad de Ciencias Forestales, UNAM. INTA EEA Montecarlo. Misiones. 32 p
- Coronel de Renolfi, Marta. (2014). "Rendimientos y costos de la cadena productiva del algarrobo blanco en Santiago del Estero, Argentina". En Ana María Giménez y Graciela Inés Bolzón (ed.) *Educación e investigación forestal para un equilibrio vital. Cooperación binacional Argentina-Brasil* (pp. 299-314).
- Coronel de Renolfi, Marta y Cardona Gabriela. (2013). *Cómo calcular costos forestales* (1ª ed). Santiago del Estero, Argentina: Lucrecia Editorial.

- Coronel de Renolfi, Marta y Gómez Adriana. (2014). "Estimación del costo del primer raleo de algarrobo blanco (*Prosopis alba*): metodología aplicada al caso de una plantación en Herrera, Santiago del Estero, Argentina". *Ingeniería Solidaria*. (10), pp. 19–27.
- Engler Patricia; Gastaldi, Laura; Marino Magdalena; Esnaola, Ignacio. (2016). Costos regionales de los sistemas primarios de producción de leche. INTA. Argentina. [https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta\\_metodologia\\_costos\\_de\\_leche\\_2016.pdf](https://inta.gov.ar/sites/default/files/inta_metodologia_costos_de_leche_2016.pdf)
- Escobar, Patricia (30/1/2018). AFOME: La inversión del Estado por hectárea plantada retorna en 20 veces más a las arcas públicas a lo largo del turno forestal. Argentina forestal. <https://www.argentinaforestal.com/2018/01/30/afome-la-inversion-del-estado-por-hectarea-plantada-retorna-en-20-veces-mas-a-las-arcas-publicas-a-lo-largo-del-turno-forestal/>
- Escobar, Patricia (20/1/2018). La foresto-industria argentina adhirió a los objetivos de la Agenda 2030 y se alinearán al plan de desarrollo sostenible de Naciones Unidas. Argentina forestal. <https://www.argentinaforestal.com/2018/03/01/la-foresto-industria-argentina-adhirio-a-los-objetivos-de-la-agenda-2030-y-se-alineara-al-plan-de-desarrollo-sostenible-de-naciones-unidas/>
- Ewens, Mauricio; Felker Peter. (2010). "A comparison of pod production and insect ratings of 12 elite *Prosopis alba* clones in a 5-year semi-arid Argentine field trial". *Forest Ecology and Management*. (260), pp. 378–383.
- Felker Peter; Grados Nora.; Cruz Gastón.; Prokopiuk, Dante. (2002). "Economic assessment of production of flour from *Prosopis alba* and *P. pallida* pods for human food applications". *Journal of Arid Environments*. 53(4), pp. 517-528
- Figueroa German; Dantas Marina. (2006). "Recolección, procesamiento y consumo de frutos silvestres en el noroeste semiárido argentino. Casos actuales con implicancias arqueológicas". *La Zaranda de Ideas. Revista de Jóvenes In-*

- investigadores en Arqueología. (2), pp. 35-50.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (1997). "Prosopis chilensis". In: *Especies arbóreas y arbustivas para las zonas áridas de América Latina*. Serie: Zonas áridas y semiáridas N°12. Santiago, Chile.
- Frank Rodolfo. (1995). *Introducción al cálculo de costos agropecuarios* (6ta. Edición). Buenos Aires: Editorial El Ateneo.
- Gordillo, Sandra. (2006). "La Algarrobeada de Cerro Colorado". *Proyecto educativo Mallku*. <https://www.yumpu.com/es/document/read/14179193/la-algarrobeada-de-cerro-colorado-igualdadycalidadcbagovar>
- Grados Nora; Cruz, Gaston (1996). "New Approaches to Industrialization of Algarrobo (*Prosopis pallida*) pods in Peru". En Felker y Moss (ed.) *Prosopis: Semiarid Fuelwood and Forage Tree Building Consensus for the Disenfranchised* (pp. 25-42). Washington, D.C.: U.S. National Academy of Sciences Building.
- Guzmán Analía; Coronel de Renolfi Marta y Pece Marta. (2011). "Determinación de fallas en la siembra comercial de Algarrobo blanco (*Prosopis alba*) en un vivero de Santiago del Estero". Quebracho. (19), pp. 23-30.
- Hernández-Díaz Jose, Prieto Ruiz Jose, Pérez-Verdín Gustavo, Wehenkel Christian, Pompa Martin García, Raúl. Lara Villa (2015). *Simulador de costos de producción de planta en viveros*. Universidad Juárez del Estado de Durango. México.
- Hodson William (2001). *Manual del Ingeniero Industrial*. México: Mc Graw Hill.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos de la República Argentina (INDEC) (2010). disponible en <https://www.indec.gov.ar/indec/web/Nivel4-CensoProvincia-999-999-86-000-2010>.
- Martínez de Escobar, Susana; Lucero, Pedro; Neira, Patricia; Karlin, Ulf Ola. Coirini, Ruben. (2015). "Uso sustentable y revalorización cultural de *Prosopis flexuosa* D.C. en la comunidad de Bermejo, departamento de Caucete, provincia de San Juan, Argentina". *Memorias del V Congreso latinoame-*

- ricano de agroecología (pp. 3-5).
- Nuevo diario (11 de enero de 2020). "El algarrobo, un alimento sano de nuestro monte". web: <http://www.nuevodiarioweb.com.ar/noticias/2020/01/11/225701-el-algarrobo-un-alimento-sano-de-nuestro-monte>
- Ghida Daza Carlos (2009). Indicadores económicos para la gestión de Empresas agropecuarias. Bases metodológicas. Serie Estudios socioeconómicos de la sustentabilidad de los sistemas de producción y recursos naturales N°11, Ediciones INTA, ISSN 1851 6955
- Pinilla Luis. (2014). Estudio de tiempos y movimientos: la medición de la productividad. Revista Metal Actual, Edición 33., 96-103.
- Renolfi Marta; Cardona Gabriela; Ruiz, Agustin. (2010). "Coeficientes técnicos del primer año de plantación de *Prosopis sp* en Santiago del Estero, Argentina". *Revista de Ciencias Forestales – Quebracho*. 18(1,2), pp. 58-70.
- Roser Leandro. (2015). Genética del paisaje en poblaciones de *Prosopis alba* de la provincia de Santiago del Estero. Tesis Doctoral (pp. 11-13).
- Sarmiento Miguel. (2017). "Consumo de productos forestales no madereros en el ámbito urbano: el caso de harinas de frutos de árboles de bosques nativos en el norte de Argentina". *Ingeniería Solidaria*. 13(23), pp. 91-105.
- Silva Torres, Horacio, Lund Doris, Coria M. (2018). "Campaña 2017/2018. El programa forestal santiagueño plantó 200 has de algarrobo blanco". *Revista Quipu Forestal*. (4), p. 46.
- Silva, Mariana. (2000). "Valoración nutritiva del fruto del algarrobo blanco (*Prosopis chilensis*) bajo distintos tipos de almacenamiento". *Multequina*. (9), pp. 65-74.
- Varela, Santiago; Aparicio Alejandro. (2011). "Aspectos básicos sobre semillas y frutos de especies forestales. Recomendaciones para su cosecha". En *Serie técnica: Sistemas Forestales Integrados* (pp. 2-5). Área Forestal - INTA EEA Bariloche.
- Vera Luis y Larroca Federico (2004). "Evaluación económica de la producción de madera de eucalipto en el nordeste de

Entre Ríos". INTA EEA Concordia. Entre Ríos.  
Zehnder Raúl y Borga Sergio (2001). "Pautas metodológicas para establecer el costo de producción en empresas tamberas". *Anuario 2001 Economía*. INTA Rafaela.

# RELACIÓN ENTRE LA CONTAMINACIÓN DEL AGUA SUBTERRÁNEA Y LOS RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN Y DEMOLICIÓN

CARLOS A. WOTTITZ<sup>1</sup>; FANNY C. ÁLVAREZ ESCALADA<sup>2</sup>;  
ANTONIO E. RAMÍREZ<sup>3</sup>; RODRIGO A. RUIZ LÓPEZ<sup>4</sup>:

## Resumen

La importancia del agua es vital para todos los seres vivos y su consumo ha crecido con la población mundial. La provisión está satisfecha en su casi totalidad por agua dulce obtenida de fuentes superficiales (lagos y ríos) y de acuíferos. La calidad del agua es su aptitud para un uso determinado, definida a través de normas o estándares, por sus características físicoquímicas y biológicas. Sin embargo, satisfacer la demanda será cada vez más difícil debido a la alteración de sus propiedades físicas,

1 Director del proyecto Código 23/C149. Ingeniero en Industrias Forestales. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE)

2 Licenciada en Química. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Becaria doctoral CIN (UNSE)

3 Licenciado en Hidrología Subterránea. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

4 Ingeniero Civil. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).



químicas y/o biológicas, por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables. La industria de la construcción ha sido y es un pilar necesario para el desarrollo de las comunidades, pero también es una de las mayores generadoras de residuos en la actualidad como consecuencia de la construcción y demolición de edificios e infraestructura. Uno de los riesgos ambientales más importantes asociados con el uso de materiales para fines de construcción es la posible liberación y posterior migración de contaminantes del material al medio ambiente. Para estimar los efectos medioambientales y poder tomar decisiones respecto al uso, tratamiento y/o vertido de los residuos de construcción, los ensayos de lixiviación son una herramienta importante para la caracterización de los materiales desde este punto de vista. Por consiguiente, es necesario caracterizar los materiales para determinar los compuestos químicos que probablemente lixivien, cuando el agua de lluvia se filtre en el vertedero, a fin de: a) estimar los impactos potenciales de su disposición final, b) elegir adecuadamente las técnicas de tratamiento y evacuación y c) diseñar los sistemas apropiados para la recolección y tratamiento de los lixiviados.

Palabras claves: Agua. Calidad. Acuíferos. Contaminación. Residuos de construcción y demolición. Lixiviación

### **Abstract**

The importance of water is vital for all living beings and its consumption has grown with the world population. The provision is satisfied almost entirely by fresh water obtained from surface sources (lakes and rivers) and aquifers. The quality of the water

is its aptitude for a determined use, defined through norms or standards, by its physical-chemical and biological characteristics. But meeting the demand will be increasingly difficult, due to the alteration of its physical, chemical and / or biological properties, due to the action of natural or artificial processes that produce undesirable results. The construction industry has been and is a necessary pillar for the development of communities, but it is also one of the largest generators of waste today as a result of the construction and demolition of buildings and infrastructure. One of the most significant environmental risks associated with the use of materials for construction purposes is the possible release and subsequent migration of contaminants from the material to the environment. To estimate environmental effects and to be able to make decisions regarding the use, treatment and / or disposal of construction waste, leaching tests are an important tool for characterizing materials from this point of view. Therefore, it is necessary to characterize the materials from this point of view to determine the chemical compounds that are likely to leach, when rainwater leaks into the landfill, in order to: a) estimate the potential impacts of their final disposal, b) properly choose the treatment and evacuation techniques and c) design the appropriate systems for the collection and treatment of leachates.

Keywords: Water. Quality. Aquifers. Pollution. Construction and demolition waste. Leaching

## Importancia de los recursos hídricos

### *Calidad del agua*

La importancia del agua es vital para todos los seres vivos. Los seres vivos están compuestos por un 70% de agua. El agua integra los ecosistemas naturales, es fundamental para el sostenimiento y la supervivencia de la vida en todo el planeta, garantiza que puedan llevarse a cabo los procesos biológicos necesarios para la reproducción de la vida, es reguladora de los ecosistemas terrestres manteniendo un equilibrio necesario para la subsistencia animal y vegetal. Es un material flexible: un solvente extraordinario, un reactivo ideal en muchos procesos metabólicos; tiene una gran capacidad calorífica y tiene la propiedad de expandirse cuando se congela. Con su movimiento puede modelar el paisaje y afectar el clima. Es importante en el desarrollo de sus diferentes actividades económicas relacionadas con agricultura, ganadería, industria, energía, etcétera (Blanco de la Torre, 2017).

La masa total de agua en la tierra, en sus estados líquido, sólido y gaseoso, ha permanecido constante desde la formación del planeta. El volumen total estimado de agua es de aproximadamente  $1,37 \times 10^9$  kilómetros cúbicos ( $\text{km}^3$ ). Del volumen total estimado, se calcula que entre el 97 y el 97,5 % del agua es agua salada ubicada en los océanos, es decir,  $1,34 \times 10^9 \text{ km}^3$ . La diferencia entre ambos,  $3,43 \times 10^7 \text{ km}^3$ , es la masa total de agua dulce. Del volumen estimado de agua dulce, el 68,7% (aproximadamente los  $\frac{2}{3}$ ) es  $2,29 \times 10^7 \text{ km}^3$  y se encuentran congelados y bloqueados en los glaciares o como nieve permanente en las regiones montañosas y en las regiones antártica y ártica. Aproximadamente el 30% del volumen de agua dulce corresponde al agua subterránea, esto es,  $1,03 \times 10^7 \text{ km}^3$  y el 1,3% restante al agua en superficie (lagos, humedad de la atmósfera, ríos, humedales, humedad de la tierra, flora y fauna)

corresponde a  $2,84 \times 10^6 \text{ km}^3$ . La humanidad depende de menos del 0,5% del volumen total para todas sus necesidades y las de los ecosistemas de agua dulce. Se estima que el suministro total de agua dulce disponible para los ecosistemas y humanos es de  $200.000 \text{ km}^3$ , es decir, solo el 0,01% del agua total en el planeta (Auge, 2008; Blanco de la Torre, 2017; Centro Argentino de Ingenieros, 2015).

Si bien el consumo de agua ha crecido con la población mundial, su demanda total no llega al 10% del volumen total renovable disponible, pero, por otro lado, la distribución heterogénea del recurso genera a su vez que un creciente número de países tenga déficit de disponibilidad de agua y un aumento creciente de los costos para su obtención y tratamiento. En otras palabras, la demanda de agua crecerá debido al aumento poblacional, y satisfacer esta demanda será cada vez más difícil. Debido a que actualmente la provisión está satisfecha en su casi totalidad por agua dulce obtenida de fuentes superficiales (lagos y ríos) y de acuíferos, es importante reconocer que ese incremento de costos está asociado con las diversas formas de deterioro que sufren estas fuentes, las cuales se pueden afectar de dos maneras: por sobreexplotación o por contaminación. Los mecanismos de intervención humana que impactan sobre este recurso son el desarrollo de aglomerados urbanos, las actividades industriales y la agricultura (Marschoff, 2012; Blanco de la Torre, 2017).

El estudio de la calidad del agua destinada a ser consumida por el hombre ha sido y es de primordial importancia, y en él intervienen muchos factores que pueden afectarla. En general, se consideran características organolépticas (olor, color, sabor y turbidez), físicoquímicas (iones que por encontrarse en exceso o déficit pueden afectar la salud) y microbiológicas (presencia de microorganismo transmisores de enfermedades o vectores hídricos). Para cada característica considerada relevante se establece un valor guía que representa la concentración de

un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si este utiliza el agua para el consumo humano y los usos domésticos habituales, incluida la higiene personal (Auge, 2008; Mariño y García, 2018)

La OMS (2011) proporciona las recomendaciones para gestionar el riesgo de los peligros que pueden comprometer la seguridad del agua para consumo humano. Para cada característica considerada relevante se establece un valor guía que representa la concentración de un componente que no supone un riesgo significativo para la salud del consumidor si éste utiliza el agua para el consumo humano y los usos domésticos habituales. Debe tenerse en cuenta que los valores guía recomendados no son límites estrictos y pueden diferenciarse en aconsejable o recomendable (valor guía de un parámetro dado que garantiza la aptitud del agua para un determinado uso) y tolerable o permitido (valor guía de un parámetro dado que habilita la utilización del agua). Las desviaciones por un periodo breve durante el cual se sobrepasan los valores guía no significan necesariamente que el agua no sea apta para el consumo.

En el capítulo XII del Código Alimentario Argentino, en su artículo 982 de la Resolución Conjunta SRYGR (Secretaría de Regulación y Gestión Sanitaria) y SAB (Secretaría de Alimentos y Bioeconomía) N° 34/2019) se define:

Con las denominaciones de agua potable de suministro público y agua potable de uso domiciliario, se entiende la que es apta para la alimentación y uso doméstico: no deberá contener sustancias o cuerpos extraños de origen biológico, orgánico, inorgánico o radiactivo en tenores tales que la hagan peligrosa para la salud. Deberá presentar sabor agradable y ser prácticamente incolora, inodora, límpida y transparente. El agua potable de uso domiciliario es el agua proveniente de un suministro público, de un pozo o de otra fuente, ubicada en los reservorios o depósitos domiciliarios. (CAA , 2021)

La calidad del agua destinada a riego también es importante, ya que esta influye considerablemente sobre las propiedades del suelo. Si el agua destinada a riego contiene un alto contenido de sales pueden producirse procesos de salinización y/o sodificación. La salinización del suelo es el incremento de la concentración de sales en la zona radical en niveles que pueden afectar el crecimiento y rendimiento de los cultivos. Generalmente, los procesos de salinización son más frecuentes en regiones áridas y semiáridas, en donde el riego es de tipo integral y la dinámica hídrica y salina está regulada por la calidad del agua aplicada. La sodificación del suelo se genera por el incremento en el contenido de sodio (Na) intercambiable, fuertemente asociado con el uso de aguas con alto relación de adsorción de sodio (RAS). La sodicidad provoca una serie de efectos, de los cuales los más severos son la degradación estructural del suelo (Acosta García y Salvadori Verón, 2017; García Ocampo, 2012; Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016; Torres Duggan *et al.*, 2017).

La calidad del agua influye significativamente en la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales, pues garantiza el cumplimiento de los requerimientos nutricionales de las especies y su adecuada calidad para el consumo humano. En los sistemas ganaderos tradicionales, especialmente aquellos de carne y leche bovinas, el agua de bebida es uno de los nutrientes más importantes y, probablemente, el menos considerado de la dieta de los animales (Fernández Cirelli *et al.*, 2010).

### *El agua subterránea*

Auge (2008) comenta que al ambiente lo componen los recursos naturales y el hombre menciona un concepto trascenden-

te desarrollado por los investigadores soviéticos, que se refiere a globalidad de la preservación ambiental:

“Los recursos se deben proteger en forma integral, es decir es imposible preservar sólo a algunos de ellos en detrimento de los otros. En efecto, la preservación del suelo o del agua superficial, no podrá lograrse si el aire está contaminado, pues la caída directa o el arrastre por la lluvia, harán que los contaminantes lleguen al suelo y a los ríos o lagos y desde allí, infiltrándose, ingresen al subsuelo y alcancen al agua subterránea”

La mayor parte de las aguas subterráneas se mueven desde una zona de recarga (por la que entran al acuífero) hasta la zona de descarga (por la que salen de él) de acuerdo con la ley de Darcy, según la cual la velocidad del agua es directamente proporcional a la permeabilidad del acuífero y al gradiente hidráulico. La recarga de los acuíferos se produce directa o indirectamente por infiltración del agua de lluvia y en mucha menor proporción por actividades humanas. La descarga se produce a través de manantiales, ríos y en último término al mar, o a través de bombeos de explotación. En la zona saturada, el agua se mueve preferentemente en sentido horizontal, aunque existen situaciones en que se produce un marcado movimiento vertical. En la zona no saturada, el agua tiende a infiltrarse verticalmente hacia el nivel freático. En la figura 1 se representa un esquema de la zona no saturada, zona saturada y el acuífero (Auge, 2008; Mariño y García, 2018)

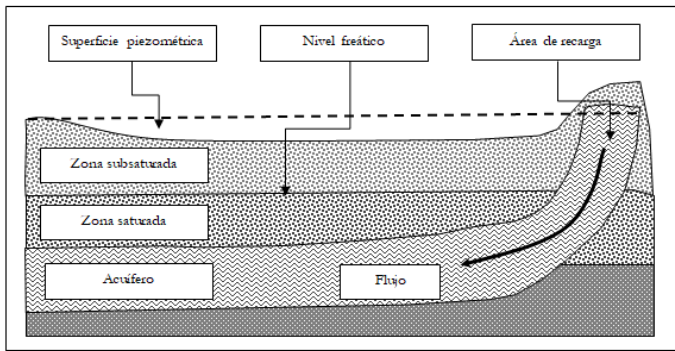


Figura 1. Esquema básico de un acuífero.

Las sustancias disueltas -contaminantes o no-, una vez incorporadas al sistema de flujo del acuífero, pueden ser transportadas bien por el propio movimiento del agua, bien por difusión molecular, o por ambos medios simultáneamente. Cuando son transportadas por el agua en movimiento tienden a moverse en la dirección general del flujo y, si no existen interacciones con el terreno, a una velocidad que es igual a la velocidad media del agua subterránea. Sin embargo, a causa de las tortuosidades del terreno, los solutos tienden a separarse de la trayectoria ideal del agua y a moverse con diferente velocidad. Esta desviación de la trayectoria ideal se denomina dispersión mecánica o hidráulica. Cuando la dispersión se produce, además, a consecuencia de la difusión molecular simultánea al movimiento del agua se denomina dispersión hidrodinámica. La dispersión puede equipararse cualitativamente a un proceso de mezcla similar al que se produce por efecto de turbulencia en aguas superficiales y que conduce de forma inmediata a la dilución de las sustancias disueltas. En la difusión, sin embargo, no se produce movimiento de solutos a través del movimiento del agua. El movimiento es debido solo a la existencia de un gradiente de concentración no hidráulico.



Su efecto es la tendencia a la igualación de concentración en cualquier parte del sistema (Auge, 2008; Mariño y García, 2018; Morell y Renau-Pruñonosa, 2019; Oyarzún L, 2007).

En la figura 2 se muestra un esquema de las tortuosidades del flujo en el suelo.

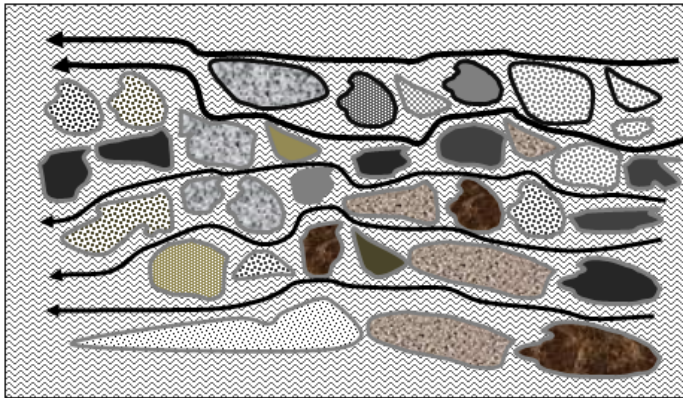


Figura 2. Esquema básico de las tortuosidades del flujo en el suelo.  
*Contaminación del agua*

Algunas conceptualizaciones generales (Auge, 2008; Mariño y García, 2018; Morell y Renau-Pruñonosa, 2019; Oyarzún L, 2007) definen contaminación como:

- La modificación de la composición del agua, por la actividad directa o indirecta del hombre, en una medida tal que su aptitud se ve restringida para todos o algunos de los usos para los podía servir en su estado natural.
- La alteración de las propiedades físicas, químicas y/o biológicas del agua, por la acción de procesos naturales o artificiales que producen resultados indeseables.
- La presencia o concentración anormal de un factor físico, químico o biológico que ocasiona una alteración del rango normal de la calidad natural de las aguas.

En la figura 3 se representa un esquema de la producción de contaminantes, la emisión al aire y los vertidos sobre el suelo y el agua. Los procesos combinados de dispersión y difusión, además de la dilución de las sustancias disueltas, provocan la formación de un penacho de contaminación cuyas propiedades dependen tanto de las características del medio, como de la sustancia que se propaga en el sistema de flujo y de las características del foco emisor. Durante el transporte de las sustancias disueltas, potenciales contaminantes a lo largo del flujo subterráneo, estas están sometidas a una serie de procesos que tienden a atenuar sus efectos (autodepuración del agua subterránea). Los cambios de la composición hidroquímica en un acuífero son el producto de la interacción del agua con el material por el que circula, donde juegan un rol fundamental la composición textural y mineralógica de la fase sólida (Auge, 2008; Mariño y García, 2018; Morell y Renau-Pruñonosa, 2019; Oyarzún L, 2007).

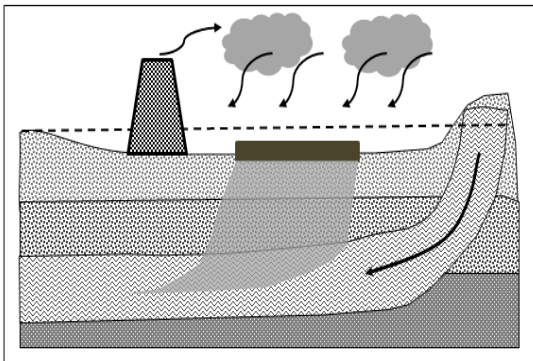


Figura 3. Esquema básico de la producción de contaminantes, la emisión al aire y los vertidos sobre el suelo y el agua.

La contaminación puede ser natural o artificial, la cual a su vez puede ser directa o inducida.

- Natural: En algunos textos se utiliza el concepto "*contaminación natural*" para catalogar las modificaciones fisicoquímicas que sufre el agua a causa de su interacción con las rocas del acuífero por el que circula. Por ejemplo, la salinización por contacto con sedimentos marinos y salinos, o yacimientos metalíferos (Pb, Hg, Zn, Cu, Ag), no metalíferos o radiactivos y la incorporación de oligoelementos como F y As, a partir de sedimentos de origen volcánicos, o bien unas areniscas liberan arsénico al agua o una formación yesífera le proporciona altas concentraciones de sulfatos. En estos casos el agua deja de ser potable pero no debe aceptarse por ello que el agua esté contaminada. La contaminación debe ser, en todo caso, provocada por la acción humana, directa o indirectamente. (Auge, 2008; Moradell y Renau-Pruñonosa, 2019)

- Artificial directa. Es la más frecuente y se la puede clasificar de acuerdo al sitio donde se produce o a la actividad que la genera (urbana y rural) o (doméstica, industrial, agropecuaria):

- Urbana: vertidos domésticos; residuos de los escapes de los motores; pérdidas en las redes cloacales; lixiviados de basuras o rellenos sanitarios; humos y desechos líquidos, sólidos y semisólidos de la industria.

- Rural: Empleo de plaguicidas y fertilizantes para mejorar la productividad. Los primeros (organoclorados u organofosforados), son altamente tóxicos (DDT, Aldrín, Dieldrín, Paratión, Malatión, Folídol, etc.). Fertilizantes (materia nitrogenada, fósforo y potasio).

- Doméstica: vertido de jabones, detergentes, lavandina, materia orgánica (alimentos, fecal, basura en general). Cuando no se dispone de desagües cloacales, el resultado es la generación de ambientes propicios para la reproducción bacteriana y la formación de  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$ .

- Industrial: Contaminación de la atmósfera por la eliminación de humos y otros compuestos gaseosos y del suelo y el agua por vertidos líquidos, sólidos y semisólidos.

Además, por la infiltración de los contaminantes atmosféricos, que caen solos o arrastrados por la lluvia.

- Artificial inducida: Es la que deriva de la sobreexplotación.

En función del tiempo, el proceso depende de la manera en que el agente contaminante llega al medio hídrico; así, la contaminación puede ser:

- Instantánea, como por ejemplo un vertido accidental;
- Continua, si el agente contaminante llega al medio constantemente (aplicación de fertilizantes, por ejemplo),
- Discontinua, cuando lo hace de manera esporádica pero más o menos frecuente.

En función del espacio se pueden distinguir los siguientes tipos de contaminación:

- Local o puntual, cuando se produce de manera localizada, como un vertedero de residuos o un cementerio.

- Dispersa: cuando existen numerosos focos puntuales distribuidos en una superficie amplia, como, por ejemplo, fosas sépticas en un territorio amplio y

- Lineal: cuando se produce a lo largo de una estructura continua, como podrían ser las fugas a lo largo de una conducción deteriorada o el flujo hacia el acuífero desde un río perdedor.

- Areal o difusa, cuando el agente contaminante llega al medio físico de manera más o menos uniforme en una superficie extensa, como es el caso de los fertilizantes o los plaguicidas utilizados.

Según Mariño y García (2018), una aproximación simplificada, basada solo en indicadores inorgánicos, muestra que un control de la conductividad eléctrica puede advertir sobre

un proceso de salinización, cuya causa deberá ser identificada (sobreexplotación, intrusión marina, efluentes de diversas fuentes, etc.). Los cambios en la dureza del agua, acompañados de incrementos de cloruro, pueden ser provocados por los detergentes presentes en los vertidos líquidos domésticos. Las variaciones laterales y verticales localizadas (zonación) de las condiciones redox de un sistema hídrico frecuentemente tienen origen en una fuente puntual de origen orgánico (pe: basureros). Las concentraciones elevadas de metales pesados, generalmente asociadas a disminuciones del pH ("aguas ácidas"), suelen ser indicativas de diversos tipos de contaminación industrial o minera.

El flujo de agua subterránea y el transporte de contaminantes no son fáciles de observar ni medir. El asunto es de importancia práctica y directa por la escala y persistencia de muchos episodios de contaminación de agua subterránea, por su impacto en los abastecimientos de agua potable y por el costo excesivo y la dificultada técnica de rehabilitación. Las aguas subterráneas se encuentran mejor protegidas que las aguas superficiales, pero, por otro lado, tanto la detección, el desplazamiento y evolución de los contaminantes para detenerlos antes de su llegada a pozos y sondeos de explotación es mucho más difícil y costoso (Echeverri, 1998).

Auge (2008) afirma que la experiencia indica que la restauración de la calidad de un acuífero deteriorado por el ingreso de uno o varios contaminantes constituye una tarea sumamente complicada en el aspecto técnico y generalmente de elevado costo. Es prácticamente imposible restaurar un acuífero a su condición original y, con frecuencia, ni siquiera se logra recomponerlo para las exigencias que requiere el uso.

## Riesgos ambientales de los residuos de construcción y demolición

Si bien la industria de la construcción es un pilar necesario para el desarrollo de las comunidades, la generación de Residuos de Construcción y Demolición (RCD) está íntimamente ligada a la actividad de este sector. Los componentes típicos de los RCD incluyen hormigón, madera, metales, yeso, cerámicos, ladrillos y vidrios. En general, se asume que estos residuos presentan bajo riesgo a la salud humana y al ambiente, sin embargo, el gran volumen que se genera impacta directamente en los costos de transporte y en la necesidad de disponer de grandes espacios para su almacenamiento (Mercante, 2007). En la figura 4 se presentan algunos ejemplos.



Figura 4. Ejemplos de residuos de construcción y demolición depositados en la vía pública

Diferentes países han tomado medidas para una adecuada gestión integral de los residuos generados en obra. Algunas son, por ejemplo, la reincorporación de RCD en procesos construc-

tivos, el reúso o aprovechamiento de RCD como materias primas, el procesamiento de RCD para ser convertidos en agregados minerales para concretos y asfaltos o el aprovechamiento de RCD como llenantes minerales. Pero este tipo de residuos no solo contienen componentes inertes, también pueden presentar en su composición algunas sustancias peligrosas desde el punto de vista medioambiental. Algunos ejemplos son metales como zinc y plomo, aniones como cloruros y sulfatos, y compuestos orgánicos como PAHs (hidrocarburos aromáticos policíclicos) (Mercante, 2007; Hidalgo López y Alonso, 2005; Pacheco Bustos, 2017).

En la República Argentina, la Ley 24051 de Residuos Peligrosos establece:

ARTÍCULO 1°. La generación, manipulación, transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos quedarán sujetos a las disposiciones de la presente ley, cuando se tratare de residuos generados o ubicados en lugares sometidos a jurisdicción nacional o, aunque ubicados en territorio de una provincia estuvieren destinados al transporte fuera de ella, o cuando, a criterio de la autoridad de aplicación, dichos residuos pudieren afectar a las personas o el ambiente más allá de la frontera de la provincia en que se hubiesen generado, o cuando las medidas higiénicas o de seguridad que a su respecto fuere conveniente disponer, tuvieren una repercusión económica sensible tal, que tornare aconsejable uniformarlas en todo el territorio de la Nación, a fin de garantizar la efectiva competencia de las empresas que debieran soportar la carga de dichas medidas". ARTICULO 2° "Será considerado peligroso, a los efectos de esta ley, todo residuo que pueda causar daño, directa o indirectamente, a seres vivos o contaminar el suelo, el agua, la atmósfera o el ambiente en general. (Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina, 1992)

Uno de los riesgos ambientales más importantes asociados con el uso de materiales para fines de construcción es la posi-

ble liberación y posterior migración de contaminantes desde el material al medio ambiente al entrar en contacto con el agua. La liberación puede ocurrir durante el uso inicial del material, después del reciclaje e, inclusive, después de la eliminación final. Esto tiene lugar mediante el proceso de lixiviación, el cual se define como la transferencia de especies o compuestos químicos de un material sólido al agua en contacto. En el medio ambiente, el contacto con el agua puede deberse a la infiltración de agua de lluvia a través de los suelos suprayacentes o al contacto directo del material con el agua subterránea o superficial (Van der Sloot y Dijkstra, 2004; Dijkstra *et al.*, 2004)

La lixiviación se produce cuando los componentes de un material en el ambiente entran en contacto con el agua y se solubilizan. Tal proceso está impulsado por los principios del transferencia de la materia, es decir, los componentes se mueven desde la solución dentro de los poros de la fase sólida hasta el agua en contacto debido a un gradiente de concentración entre fases. Si el proceso de lixiviación continúa hasta que se minimizan los gradientes de concentración y cesa el transporte de masa, se considera que el escenario ha alcanzado el equilibrio químico. Debido a la lenta disolución de algunos minerales y otros procesos dependientes del tiempo, se puede lograr el equilibrio químico para algunos constituyentes, pero no para todos ellos, dentro de una duración definida (como un intervalo de evaluación corto o la duración de algunas pruebas de laboratorio). Cuando se logra el equilibrio químico, el proceso de lixiviación puede tener uno de varios puntos finales con respecto a un constituyente: a) límite de contenido disponible: la fase sólida del componente lixiviable se agota de modo que la transferencia de sólido a líquido se detiene; b) límite de solubilidad: la fase acuosa se satura con respecto al constituyente y se detiene la lixiviación, aunque queda una fracción del constituyente en el sólido disponible para la lixiviación

Para fines ambientales, es importante distinguir si la finali-



zación del proceso de lixiviación de los componentes se debe al contenido disponible o la solubilidad limitada (EPA, 2019).

### **Ensayos de lixiviación de materiales**

Para estimar los efectos medioambientales y poder tomar decisiones respecto al uso, tratamiento y/o vertido de los residuos de construcción, los ensayos de lixiviación son una herramienta importante para: a) caracterizar los diferentes materiales; b) poder determinar los compuestos químicos que probablemente lixivien; c) estimar los impactos potenciales de su disposición final; d) elegir adecuadamente las técnicas de tratamiento y evacuación; y e) diseñar los sistemas apropiados para la recolección y tratamiento de los lixiviados cuando el agua de lluvia se filtren en el vertedero (Butera *et al.*, 2015; EPA, 2019; Van der Sloot y Dijkstra, 2004).

Según EPA (2019), Hidalgo López y Alonso (2005) y Van der Sloot y Dijkstra (2004), los mecanismos de liberación de los productos minerales de los distintos materiales usados en la construcción son similares. El número de factores químicos y físicos que controlan la liberación de los productos de construcción es bastante limitado. Los factores dominantes pueden identificarse y cuantificarse en un número limitado de métodos de ensayo. Esto permite el uso de un enfoque unificado de las pruebas. Conociendo la velocidad y proporción a la cual los constituyentes de interés pueden ser liberados, se podrían definir los impactos potenciales en el medioambiente, tales como la contaminación de aguas superficiales, los riesgos ecológicos y los riesgos para la salud humana. La velocidad y el alcance de la liberación de constituyentes inorgánicos de un material sólido están controlados por una combinación de procesos físicos y químicos que dependen de la velocidad de lixiviación de los distintos elementos: a) el tamaño geométrico

del material (es decir, el tamaño de partícula para materiales granulares o la dimensión perpendicular al transporte de masa para materiales monolíticos y rellenos granulares compactados; b) las propiedades del material sólido; c) del escenario donde tiene lugar, el cual a su vez influye directamente en el pH del medio; d) de la relación de masas de agua (L) respecto a la masa del material (S): L/S; y e) los productos específicos que se lixivian que están contenidos en el material.

En términos de comportamiento de liberación, hay que distinguir dos tipos de productos: los materiales monolíticos y los materiales granulares. En la figura 5 se ilustra el caso para los materiales monolíticos y en la figura 6 para los materiales granulares.

Los materiales monolíticos a menudo muestran una liberación controlada por difusión (liberación de los constituyentes de los productos debido a la difusión). Ejemplos de productos monolíticos son todos los productos cementosos (por ejemplo, hormigón, ladrillos, materiales revestidos). En cambio, los materiales granulares suelen mostrar una liberación dominada por la percolación (liberación debida a la percolación del agua a través del producto).

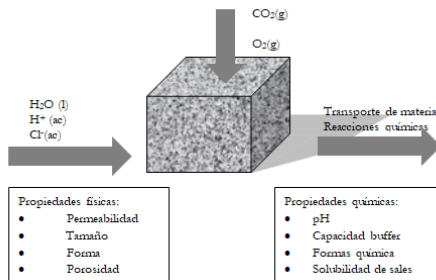


Figura 5. Factores que influyen en la lixiviación de componentes en materiales monolíticos.

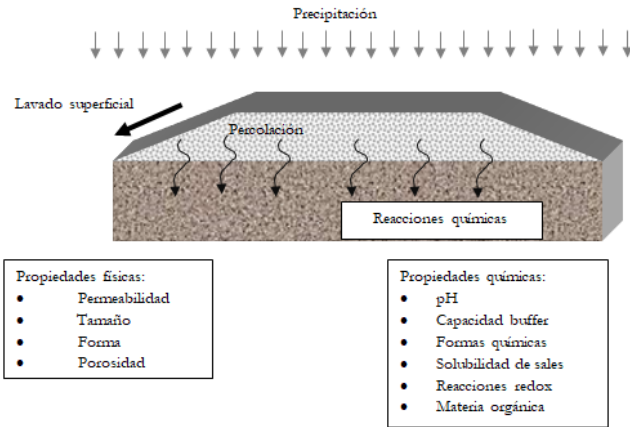


Figura 6. Factores que influyen en la lixiviación de componentes en materiales granulares.

La influencia del pH sobre la lixiviación de los constituyentes se puede evaluar usando el método EPA 1313 o bien la norma CEN/TS 14429. En general, el método está diseñado para cuantificar la extracción de los constituyentes solubles de una matriz sólida en condiciones cercanas al equilibrio en un amplio rango de valores de pH, entre 2 y 13, más el pH natural del material (es decir, cuando se lixivia con agua destilada y no se agrega ácido o base). En general, el procedimiento consiste en 9 a 10 extracciones por lotes en paralelo de un material sólido a varios valores finales de pH objetivo y a una relación masa de solvente/masa de sólido anhidro igual a  $L/S = 10$ . El pH de cada extracción se controla mediante adiciones de un volumen conocido de un ácido o de una base fuerte. El volumen agregado depende de la capacidad de neutralización del ácido (ANC) del material obtenida de una titulación volumétrica previa a la prueba. Para lograr condiciones de equilibrio más rápidas y reducir el tiempo de prueba, se reduce del tamaño de partícula del material de la muestra. Dado que

las concentraciones de lixiviado pueden variar en múltiples órdenes de magnitud en todo el rango de pH, se recomienda que la gráfica se transforme logarítmicamente para facilitar la presentación. El eluato se filtra por presión o por vacío en preparación para el análisis de constituyentes. En la figura 7 se muestra un ejemplo hipotético de la influencia del pH sobre masa lixiviada (mg) por unidad de masa de muestra (kg) (EPA, 2017a; CEN/TS 14429, 2013).

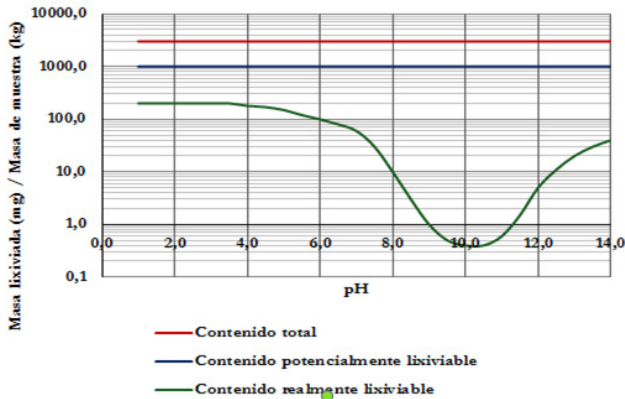


Figura 7. Contenido total, potencialmente lixiviable y realmente lixiviable de un componente hipotético en función del pH del ensayo.

La influencia de la percolación sobre la lixiviación de los constituyentes se puede evaluar usando el método EPA 1314 o bien la norma CEN/TS 14405. En general, el método está diseñado para evaluar la extracción de los constituyentes solubles de una matriz sólida en una prueba de columna de percolación empacada con material granular con compactación moderada en función de la relación L/S acumulada. En general, se reduce el tamaño de partícula del material para facilitar las pruebas. El eluyente se introduce mediante el bombeo de agua desionizada a través de la columna para minimizar el arrastre de aire

y el flujo preferencial. El flujo de eluyente es lento, de modo que las concentraciones de eluyente resultantes se aproximan al equilibrio líquido-sólido dentro de la columna. Las muestras de columna de eluato se recolectan en nueve intervalos de las relaciones L/S acumulados especificados. Se miden el pH del eluato y la conductancia específica. El eluato se filtra por presión o por vacío en preparación para el análisis de constituyentes. Las alícuotas analíticas de los extractos se recolectan y conservan de acuerdo con los métodos determinativos a realizar (EPA, 2017b; CEN/TS 14405, 2004.)

La figura 8 ilustra las diferencias entre los conceptos de concentración total de un componente, cantidad potencialmente lixiviable de ese componente y la evolución de la lixiviación con el tiempo. La concentración total de un componente no tiene una relación directa con el impacto medioambiental. La concentración potencialmente lixiviable de un componente es lo que se lixiviaría en el peor de los casos, es decir, en un caso extremo. La cantidad disponible de un elemento para ser lixiviado, bajo condiciones extremas, es una información necesaria para poder predecir las cantidades máximas que se pueden lixiviar a largo plazo. Se habla en este caso del término "disponibilidad" para indicar la concentración máxima lixiviable de un elemento. Para utilizar este parámetro de una manera correcta, es importante que las condiciones durante una prueba de disponibilidad sean acordes con la situación real (EPA, 2019; Hidalgo López y Alonso, 2005).

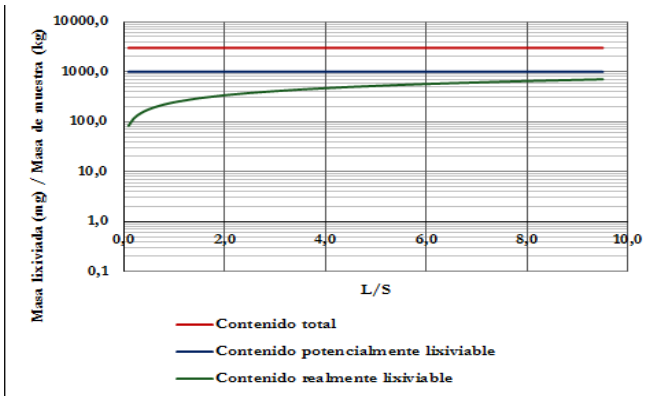


Figura 8. Contenido total, potencialmente lixiviable y realmente lixiviable de un componente hipotético en el ensayo de percolación.

La influencia del tiempo de exposición en materiales monolíticos (por ejemplo, materiales de concreto, ladrillos, baldosas) o materiales granulares compactados (por ejemplo, suelos, sedimentos, cenizas volantes) utilizando agua desionizada como solución de lixiviación se puede evaluar usando el método EPA 1315 o bien la norma CEN/TS 15863. En general, es un procedimiento de lixiviación de tanques semidinámico utilizado para determinar la velocidad de transporte masivo de las sustancias solubles de materiales monolíticos (por ejemplo, materiales de concreto, ladrillos, baldosas) o materiales granulares compactados (por ejemplo, suelos, sedimentos, cenizas volantes) en función del tiempo utilizando agua desionizada como solución de lixiviación. El método consiste en la lixiviación de una muestra de prueba en un baño con renovación periódica de la solución de lixiviación en los tiempos de lixiviación acumulativos especificados. En nueve intervalos de tiempo especificados, las muestras se transfieren a agua de reactivo fresco y el eluato del intervalo anterior se analiza para determinar las propiedades del eluato (por ejemplo, pH, CE) y las concentraciones de

los componentes. Las concentraciones de los constituyentes medidos en mg/L se representan gráficamente en función del tiempo acumulativo y junto con una gráfica análoga del pH del eluato en función del tiempo acumulado de lixiviación. Tanto el flujo de intervalo como la liberación de masa acumulada se representan en función del tiempo de lixiviación acumulativo (EPA, 2017c; CEN/TS 15863, 2004).

La influencia la relación L/S sobre la lixiviación de los constituyentes se puede evaluar usando el método EPA 1316 (EPA, 2017c) o bien la norma CEN/TS 14429. En general, es una prueba de lixiviación basada en el equilibrio destinada a proporcionar soluciones de eluato en un rango de L/S. Este método consiste en cinco extracciones discontinuas paralelas de un material sólido de tamaño de partícula reducido en agua reactiva en un rango de valores L/S de 0,5 a 10. Al final del intervalo de contacto, las fases líquida y sólida se separan por presión o por filtración al vacío en preparación para el análisis de los componentes. El pH del extracto y las mediciones de conductancia específica se toman en una parte alícuota de la fase líquida. Las alícuotas analíticas de los extractos se recolectan y conservan de acuerdo con los métodos determinativos a realizar. Los resultados del método se presentan como concentraciones de eluato [mg/L] o como liberación en masa [mg/kg] calculadas multiplicando las concentraciones por la L/S específica de extracción [L/kg en seco] (EPA, 2017d; CEN - EN 12457-1, 2002).

### **Ensayos experimentales de lixiviación de residuos de construcción y demolición a diferentes valores de pH y por percolación en columna**

Las muestras de revoque se recogieron manualmente al azar de diferentes lugares de la ciudad de La Banda (Santiago del

Estero, Argentina), las que dieron un total aproximado de 5 kg. El material se trituroó manualmente con un martillo de 2 kg y se tamizó en una zaranda de arena fina (utilizada en albañilería) de aproximadamente 1,5 mm de abertura de malla.

Para analizar la influencia del pH, se determinaron experimentalmente la concentración de los iones mayoritarios, es decir, los iones calcio, magnesio, sodio, potasio, cloruro, sulfato, nitrato, bicarbonato y carbonato mediante el método EPA 1313 (EPA, 2017a) a pH 2, 4, 7, 10 y 12, manteniendo la relación a L/S  $\cong$  10, y se discutió a la luz de la normativa vigente para el agua potable y de riego (CAA, 2021; OMS, 2018; Acosta García y Salvadori Verón, 2017; García Ocampo, 2012; Tartabull Puñales y Betancourt Aguilar, 2016; Torres Duggan et al., 2017).

Previamente es necesario determinar experimentalmente el número de milimoles  $C_A$  de ácido (número de milimoles de ácido fuerte (ácido nítrico y clorhídrico) por gramo de muestra) para lograr el pH = 2 y pH = 4 y de base CB (número de milimoles de base fuerte (hidróxido de sodio e hidróxido de potasio) para el pH = 10 y pH = 12 indicados en el Método EPA 1313. En la figura 9 se representa el resultado así obtenido.

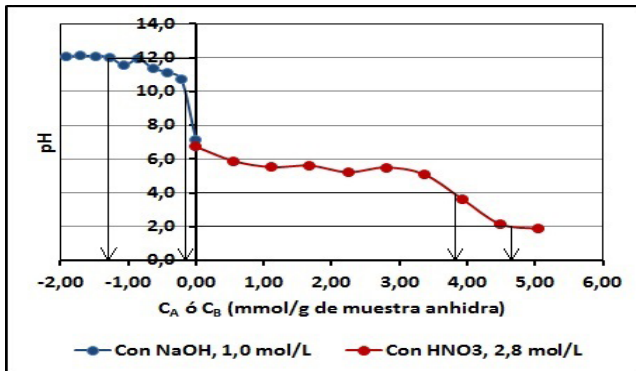


Figura 9. Valores de pH en función del número de milimoles de ácido y de base para una muestra de revoque.



Luego se determina experimentalmente la concentración de los iones mencionados por los métodos analíticos conocidos. En la figura 10 se presentan las concentraciones de los cationes y aniones lixiviados a los diferentes pH ensayados.

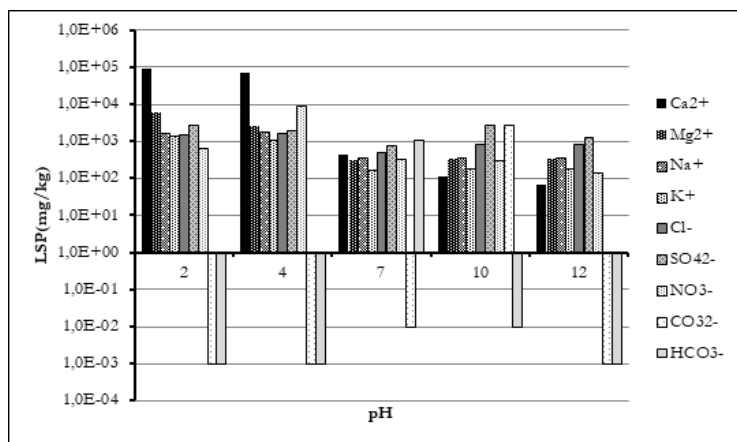


Figura 10. Concentración de los iones mayoritarios lixiviados en función del pH, de una muestra de revoque

La concentración de los cationes calcio y magnesio a pH 2 y pH 4 se lixivian en un orden de magnitud entre  $10^3$  y  $10^4$  veces, los cuales superan ampliamente al límite del agua potable. A  $\text{pH} \geq 7$ , descienden a valores menores que el límite para el agua de riego. Se deduce que predomina calcio y magnesio en la muestra estudiada.

La concentración de los cationes sodio a pH 2 y pH 4 se lixivian en un orden de magnitud de  $10^2$ . A  $\text{pH} \geq 7$ , también descienden a valores menores que el límite para el agua potable pero mayores que el agua de riego.

La concentración de los cationes potasio a pH 2 y pH 4 se lixivian en un orden de magnitud de  $10^2$ . A  $\text{pH} \geq 7$ , también descienden, pero siempre superan los valores límites para el

agua potable y de riego.

La concentración de los aniones cloruro, sulfato y nitrato a pH 2 y pH 4 se lixivian en un orden de magnitud  $10^1$  y  $10^2$ , y tienen entre sí un comportamiento similar. A pH  $\geq 7$ , también descienden a valores menores que el límite para el agua potable pero mayores que el agua de riego. Respecto del ion nitrato, se observa un aumento grande a pH 4 y luego desciende a valores similares a los otros iones. Respecto de los iones bicarbonato, se observa que a pH 2 prácticamente no hay presencia de estos, mientras que a partir de pH 4 aumentan levemente hasta pH 10, luego desciende fuertemente hasta prácticamente 0.

El pH influye significativamente en la lixiviación de todos los elementos presentes en la muestra de revoque. A pH ácidos, la lixiviación del ion calcio y magnesio es importante mientras que la de los iones cloruro, sulfato, sodio y potasio es moderada. A pH alcalinos la influencia es menor. La mezcla de este tipo de residuos con otros que causen cambios en el pH del medio puede generar mayor contaminación que la prevista (Wottitz *et al.*, 2021a).

## Ensayos experimentales de lixiviación por percolación

Para analizar la influencia de la relación L/S acumulada, se determinó experimentalmente la concentración de los iones mayoritarios por percolación en columna mediante el método EPA 1314 (EPA, 2017b).

El equipo que se usó en la experiencia se representa en la figura 11; este consta de un tubo de PVC de diámetro interno de 59 mm y longitud de 1021 mm, en el cual se carga el agua que atraviesa la celda de lixiviación. La celda de lixiviación es de acrílico transparente de diámetro interno de 71 mm y longitud de 320 mm. El movimiento del agua a través de la muestra se

logró por diferencia de presión hidrostática. El agua atraviesa la celda de lixiviación con la muestra. La solución lixiviada se recoge en una probeta volumétrica de 1,0 L.



Figura 11. Equipo de laboratorio utilizado en los ensayos de lixiviación por percolación.

Luego se determina experimentalmente la concentración de los iones mencionados por los métodos analíticos conocidos.

En la figura 12 se representa la conductividad eléctrica (CE) en función de la relación L/S acumulada.

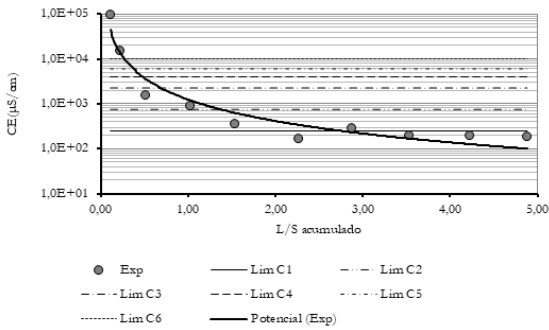


Figura 12. Conductividad eléctrica del lixiviado (CE) en función de la relación L/S acumulada de una muestra de revoque.

En la misma figura también se indican las referencias respecto de la calidad para el agua de riego. Por ejemplo, para estas muestras se evidencia que debe cumplirse que  $L/S > 1,5$  para que el agua alcance una conductividad aproximada de  $750 \mu\text{S}/\text{cm}$ , esto es aproximadamente una vez y media la masa de la muestra (Wottitz *et al.*, 2021b).

En la figura 13 se representa la relación experimental del pH en función de la relación L/S acumulada. Se observa que el pH se mantiene en el rango de  $7,5 \pm 0,5$  (Wottitz *et al.*, 2021b).

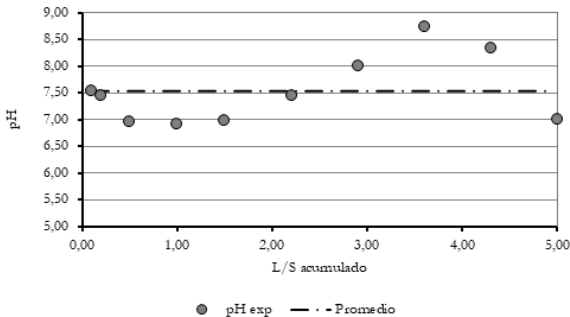


Figura 13. Valor de pH del lixiviado en función de la relación L/S acumulada de una muestra de revoque.

En la figura 14 se representan las relaciones experimentales de la masa lixiviada por unidad de masa de muestra anhidra en función de la relación L/S acumulada de los iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), sodio ( $\text{Na}^+$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) (Wottitz et al., 2021b).

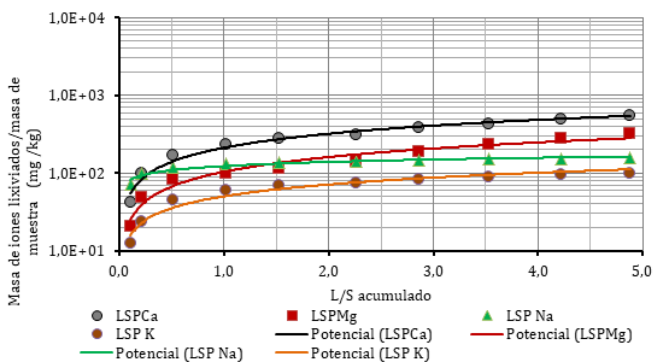


Figura 14. Masa lixiviada por unidad de masa de muestra de los cationes en función de la relación L/S acumulada.

En la figura 15 se representan las relaciones experimentales de la masa lixiviada por unidad de masa de muestra anhidra en función de la relación L/S acumulada de los iones cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) y bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) (Wottitz et al., 2021b).

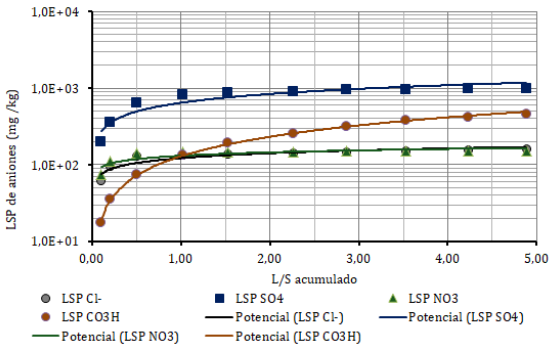


Figura 15. Masa lixiviada por unidad de masa de muestra de los aniones en función de la relación L/S acumulada.

En general, se observa a  $L/S \leq 1$  que los cationes que se liberan con mayor facilidad son el calcio y el sodio, y que los aniones más solubles son los sulfatos, los nitratos y los bicarbonatos. El aporte de los iones carbonato es prácticamente nulo. Cuando el  $L/S \geq 1$ , la liberación de los iones continúa, aunque en menor medida. En un sistema real en condiciones similares, la masa total de los iones lixiviados que ingresen al ambiente va a depender de la masa de residuos, de la masa de agua que circula por ellos, de la densidad, de la granulometría y de la permeabilidad de los residuos.

Este tipo de escombros liberarían al ambiente por percolación iones mayoritarios que puede influir negativamente en el ambiente, especialmente en los cuerpos de agua, y su cantidad depende de la masa total de los residuos, de la solubilidad de las sales, de las dimensiones del lecho, la densidad, la granulometría, la permeabilidad del lecho y el tiempo de exposición.

Aunque se considere que estos materiales afectan en escasa medida al ambiente, no se puede ignorar su influencia, más teniendo en cuenta que se generan en grandes cantidades.

Por todo lo analizado, es necesario profundizar las investigaciones al respecto. (Wottitz *et al.*, 2021b).

## Bibliografía

- Acosta García, Juan Cruz y Salvadori Verón, Jonathan Alexis (2017). "Evaluación de la calidad de agua para riego mediante el empleo de criterios actualizados". Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de La Pampa. La Pampa. Argentina. [http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a\\_acoeva602.pdf](http://www.biblioteca.unlpam.edu.ar/rdata/tesis/a_acoeva602.pdf) .
- Auge, Miguel (2004). *Hidrogeología ambiental I*. Universidad de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Ciencias Geológicas.
- Blanco de la Torre, Félix (2017). "Los recursos hídricos en el mundo: cuantificación y distribución". *Cuadernos de estrategia* (Ejemplar dedicado a: *El agua: ¿fuente de conflicto o cooperación?*). (186), pp. 21-70.
- Butera, Stefania; Hyks, Jiri; Christensen, Thomas H.; Astrup, Thomas F. (2015) "Construction and demolition waste: Comparison of standard up-flow column and down-flow lysimeter leaching tests". *Waste Management*. (43), pp. 386-397.
- Centro Argentino de Ingenieros (2015). "El agua, un recurso limitado y estratégico". *Revista CAI*. (1114), pp. 18-24.
- CAA (Código Alimentario Argentino) (2021). "Normas para producción, elaboración y circulación de alimentos para consumo humano en todo el país". *Capítulo XII. Bebidas hídricas, agua y agua gasificada*.
- CEN/TS (Comité Europeen de Normalisation) 14429 (2013). "Characterization of Waste – Leaching Behaviour Tests – Influence of pH on Leaching with Initial Acid/base Addition". Brussels, Belgium: Comité Europeen de Normalisation.
- CEN/TS (Comité Europeen de Normalisation) 14405 (2004). "Characterization of Waste - Leaching Behaviour Tests - Up-flow Percolation Test (Under Specified Conditions)". Brussels, Belgium: Comité Europeen de Normalisation.

- CEN/TS (Comité Europeen de Normalisation) 15863 (2012). "Characterization of waste – Leaching Behaviour Tests – Dynamic Monolithic Leaching Test with Periodic Leachant Renewal". Brussels, Belgium: Comité Europeen de Normalisation.
- CEN/TS (Comité Europeen de Normalisation) 12457-1 (2002). "Characterization of waste. Leaching. Compliance test for leaching of granular waste materials and sludges - Part 1: One stage batch test at a liquid to solid ratio of 2 l/kg for materials with high solid content and with particle size below 4 mm (without or with size reduction)". Brussels, Belgium: Comité Europeen de Normalisation.
- Dijkstra, Joris J; Meeussen, Johannes CL y Comans Rob NJ (2004). "Leaching of heavy metals from contaminated soils: an experimental and modeling study" *Environmental science & technology*. 38(16), pp. 4390-4395.
- Echeverri R., Gloria Elena. (1998). "Aspectos teóricos sobre el fenómeno de contaminación de aguas subterráneas". *Revista Universidad EAFIT*. 34(111), pp. 61-75.
- EPA (United State Environmental Protection Agency) (2019). "Leaching Environmental Assessment Framework (LEAF) How-To Guide Understanding the LEAF Approach and How and When to Use It".
- EPA (United State Environmental Protection Agency) (2017a). "SW-846 Test Method 1313: Liquid-Solid Partitioning as a Function of Extract pH Using a Parallel Batch Extraction Procedure".
- EPA (United State Environmental Protection Agency) (2017b). "SW-846 Test Method 1314. Liquid-Solid Partitioning as a Function Liquid-Solid Ratio for Constituents in solid materials using an Up-Flow Percolation Column Procedure".
- EPA (Environmental Protection Agency) (2017c). "SW-846 Test Method 1315: Mass Transfer Rates of Constituents in Monolithic and Compacted Granular Materials using a Semi-Dynamic Tank Leaching Procedure".
- EPA (Environmental Protection Agency) (2017d). "SW-846



Test Method 1316: Liquid-Solid Partitioning as a Function of Liquid-to-Solid Ratio in Solid Materials Using a Parallel Batch Procedure".

- Fernández Cirelli, A.; Schenone, N.; Pérez Carrera, A. y Volpedo, A. (2010). "Calidad de agua para la producción de especies animales tradicionales y no tradicionales en Argentina." *AUGMDOMUS. Asociación de Universidades Grupo Montevideo*. (1), pp. 45-66.
- García Ocampo, Álvaro (2012). "Criterios modernos para la evaluación de la calidad del agua de riego". *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica. IAH*. (6), pp. 27-36.
- Guevara Pérez, Edelberto (2016). *Transporte y transformación de contaminantes en el ambiente y contaminación de las aguas*. Lince, Perú: Autoridad Nacional del Agua.
- Hidalgo López, Ana; Alonso Ruiz-Rivas, Carmen (2005). "Evaluación del impacto medioambiental debido a la lixiviación de productos de base cemento". *I Jornadas de Investigación en Construcción* (Tomo I, pp. 571-581). Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas, CSIC, Instituto Eduardo Torroja.
- Kouretzis, George (2018). *Fundamental of Geotechnical Engineering and their Applications*. Australia: George Kouretzis/ The University of Newcastle.
- Mariño Eduardo Eleuterio y García Rodolfo Fernando (2018). "Apuntes sobre Aplicaciones ambientales de la hidrogeoquímica". *Comportamiento y evolución espacio-temporal del arsénico en aguas subterráneas de la República Argentina*". Secretaria de infraestructura y política hídrica. Consejo hídrico federal (COHIFE). Plan nacional federal de aguas subterráneas. Universidad Nacional de La Pampa. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.
- Marschoff, Carlos Miguel (2012). "La contaminación del agua subterránea". *Petrotecnia. Agua: panorama general en Argentina*. (junio de 2012), pp. 66-69.
- Mercante, Irma T. (2007). "Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de los índices de generación a la

- gestión ambiental". *Revista Científica de UCES*. 11(2), pp. 86-109.
- Moradell, Ignacio; Renau-Pruñonosa, Ariadna. (2019). "Contaminación de aguas subterráneas. Algunos ejemplos". *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*. 27(1), pp. 3-17.
- OMS (Organización Mundial de la Salud) (2011). *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Cuarta edición que incorpora la primera adenda.
- Pacheco Bustos, Carlos A.; Fuentes Pumarejo, Luis G.; Sánchez Cotte, Edgar H. y Rondón Quintana, Hugo A. (2017). "Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de Barranquilla desde su modelo de gestión". *Ingeniería y Desarrollo*. 35(2), pp. 533-555.
- Oyarzún L Ricardo. CEAZA-Chile (2007). "Transporte de contaminantes en aguas subterráneas". *Aula2pontonet. Un portal de cursos y documentos on-line*. CEAZA-Chile.
- República Argentina. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos (enero de 1992). Ley N° 24.051. "Residuos Peligrosos"
- Tartabull Puñales, Tania y Betancourt Aguilar, C. Carmen (2016). "La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan". *Revista Científica Agroecosistemas*. 4(1), pp. 47-61.
- Torres Duggan, Martin; Álvarez, Carina R. y Rimski Korsakov, Helena (2017). "Evaluación de la calidad del agua y del suelo regado en forma complementaria en la región pampeana argentina". En *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica IAH 25* (pp. 17-23). Buenos Aires, Quito, Georgia: International Plant Nutrition Institute.
- Van der Sloot, Hans A. y Dijkstra, Joris J. (2004). "Development of horizontally standardized leaching tests for construction materials: A material based or release based approach? Identical leaching mechanisms for different materials". *ECN-C--04-*. (junio de 2004), pp. 2-56.
- Wottitz, Carlos A.; Álvarez Escalada, Fanny C.; Ramírez, Antonio E. y Ruiz López, Rodrigo A. (2021a). "Efecto del pH so-

bre la lixiviación de los iones mayoritarios de una muestra de residuo de construcción (revoque).” Aprobado para su publicación en la *Revista Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA N°6*. ISSN 1853-6662. 8 p.

Wottitz, Carlos A.; Álvarez Escalada, Fanny C.; Ramírez, Antonio E. y Ruiz López, Rodrigo A. (2021b). “Factores que influyen sobre la lixiviación de los iones mayoritarios de una muestra de residuo de construcción (revoque). Parte 2 Percolación en columna”. En *Informe final del proyecto Integración de los ensayos de lixiviación de residuos de construcción y demolición a nivel de laboratorio y a nivel de escala banco*. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías. Departamento Académico de Química.

## LA UNIVERSIDAD VA AL CAMPO

### Trabajo participativo con un pequeño productor caprino

FLORENCIA FRAU<sup>1</sup>; FLORENCIA SALINAS<sup>2</sup>;  
NELSON LEGUIZAMÓN CARATE<sup>3</sup>; NORA PECE<sup>4</sup>

#### Resumen

El objetivo de este capítulo es relatar el trabajo realizado con un productor de leche de cabra, quien pertenece al sistema de la agricultura familiar de la provincia de Santiago del Estero. El pequeño productor está dedicado a la obtención de leche y a la elaboración de quesos de cabra, con el convencimiento de que es imposible obtener quesos de calidad si la leche que

1 Directora del Proyecto Desarrollo de quesos untables de cabra con diferente contenido graso, elaborados con fermentos comerciales y autóctonos con la incorporación de gomas. Doctora en Alimentos con Orientación en Ingeniería. FAyA (UNSE).

2 Magister en Producción Animal. Facultad de Agronomía y Agroindustrias (UNSE).

3 Ingeniero en Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

4 Codirectora del Proyecto Desarrollo de quesos untables de cabra con diferente contenido graso, elaborados con fermentos comerciales y autóctonos con la incorporación de gomas. Doctora en Ingeniería. FAyA (UNSE).

se usa como materia prima tiene problemas tecnológicos, microbiológicos o de producción. A partir del trabajo realizado se logró caracterizar la majada describiendo su genética, condición general y la edad de las cabras. Se demostró la necesidad de realizar reposición de hembras jóvenes y eliminar animales viejos e improductivos, con el objetivo de incrementar la producción láctea. Asimismo, se capacitó al personal en Buenas Prácticas de Ordeño, lo cual permitió mejorar la calidad de leche obtenida. Se realizaron tratamientos en hembras enfermas para obtener más animales en ordeño y se construyeron comederos para el racionamiento estratégico de alimentos e insumos y así sobrellevar las épocas de menor oferta forrajera del bosque. El trabajo participativo realizado, respetando la cultura y prácticas de los productores involucrados, permitió el diseño, la puesta en práctica y el seguimiento de innovaciones propuestas para corregir las falencias detectadas y éstas han sido mantenidas en el tiempo.

Palabras clave: Agricultura Familiar, Producción láctea caprina, Calidad de Leche

### **Abstract**

The aim of this work is to relate the work carried out with a goat's milk producer, who belongs to the Family Farming system of Santiago del Estero. Small producer is dedicated to obtaining milk and making goat cheeses, with the conviction that it is impossible to obtain quality cheeses if the milk used as raw material has technological, microbiological or production problems. The flock was characterized describing its genetics, general condition and age; taking these values as a point of

reference to intervene in the system and improve these indicators. Need to replace young females and eliminate old and unproductive animals was demonstrated, with the aim of increasing milk production. Likewise, staff were trained in Good Milking Practices, which made it possible to improve the quality of milk obtained.

Treatments were carried out in ill females to obtain more animals for milking and feeders were built for the strategic rationing of the flock and thus cope with critical moments of production. Participatory work, respecting culture and practices of producers involved, allowed the design, implementation and monitoring of proposed innovations to correct shortcomings detected and these have been maintained over time.

Keywords: Family Farming, Goat dairy production, Milk Quality

### ¿Qué queremos contar?

El objetivo de este capítulo es compartir con el lector parte del trabajo realizado con un productor perteneciente a la agricultura familiar de la provincia de Santiago del Estero que se dedica, principalmente, a la obtención de leche de cabra y a la elaboración de quesos. En este capítulo abordaremos el trabajo realizado en la producción primaria del establecimiento a fin de obtener leche de calidad.

Durante el recorrido de las siguientes páginas, describiremos las características de la agricultura familiar en general y del establecimiento en el que trabajamos en particular, los problemas encontrados y las soluciones propuestas, miradas siempre desde el trabajo participativo entre técnicos-investigadores-productores, actores que conforman una triada y que

deben trabajar juntos y en armonía si el objetivo es encontrar soluciones que se mantengan en el tiempo.

Si bien el objetivo del proyecto de investigación en el marco del cual se ha realizado el trabajo corresponde a la tecnología de productos lácteos, es imposible obtener quesos de calidad si la leche que se usa como materia prima tiene problemas tecnológicos, microbiológicos o de producción; de ahí la importancia del trabajo en la producción primaria.

Los resultados referidos a la producción de quesos han sido publicados en otro libro editado por la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, que también invitamos a leer.

### **Una breve caracterización de la agricultura familiar**

Diferentes autores coinciden en la descripción de la agricultura familiar (AF) como una "forma de vida" y "una cuestión cultural", que tiene como principal objetivo la "reproducción social de la familia en condiciones dignas", donde la gestión de la unidad productiva y las inversiones son realizadas por individuos que mantienen entre sí lazos de familia (Frau *et al.*, 2019). La mano de obra, por lo general, es proporcionada por los miembros de las familias y la propiedad o lugar donde se desenvuelve la población rural, que generalmente es una superficie pequeña, pertenece a sus ancestros, en la mayoría de los casos (Huerga, 2012). En el término de AF se engloban pequeños productores rurales, minifundistas, campesinos y sus familias, con o sin tierras propias y, no menos importante, a las comunidades de pueblos originarios (Huerga, 2012).

Lo que más se destaca al describir la AF es lo que ocurre internamente en la población rural; dentro de ella se transmiten saberes, valores, prácticas y experiencias, buscando sobre todas las cosas, el arraigo de los jóvenes (Huerga, 2012).

## Algunos números de la agricultura familiar

Datos preliminares obtenidos del Censo Nacional Agropecuario (CNA) 2018, indican la existencia de 250.881 explotaciones agropecuarias (EAPs) en todo el país, con una superficie total de 157.423.932,1 hectáreas agropecuarias. Si se compara con los censos anteriores (2002/1988) se observa una disminución, sobre todo, de las explotaciones pequeñas, que son las primeras en desaparecer (Paz *et al.*, 2013). Este es un comportamiento que se repite con el paso del tiempo; sin embargo, esta disminución de EAPs no es uniforme en toda la Argentina. Si bien el descenso ocurre en todo el territorio nacional, existen diferencias entre regiones; es mayor en explotaciones de la zona pampeana (65%) que en el noroeste argentino (5%). Autores como Paz *et al.* (2013) afirman que estas diferencias se explican considerando los niveles de transformación agraria y la diferenciación que existe entre el campesino del noroeste y la empresa familiar capitalizada que predomina en la región pampeana, como así también, el papel que presenta la mercantilización y la capacidad que tienen estos representantes para sobrellevarlo.

Las unidades productivas familiares desarrollan estrategias o habilidades de subsistencia, sumando otras características que muestran a dichas explotaciones más activas y capaces de encontrar soluciones efectivas, para evitar su desaparición. Algunas de las características que se pueden mencionar son las capacitaciones, cursos o talleres a los que asisten los productores para encontrar innovación en sus productos o formas de producción, para así lograr añadir un valor agregado. De esta manera, el productor consigue realizar un proceso artesanal utilizando los productos de su explotación y encontrando una amplitud en los mercados para ubicar lo elaborado (Paz *et al.*, 2013).



## La agricultura familiar en el NOA y en Santiago del Estero

Particularmente en la región del Noroeste Argentino (NOA), y especialmente en la provincia de Santiago del Estero, predominan las unidades agropecuarias de economía familiar, lo que representa 67,8% de las EAP (Obschatko *et al.*, 2007; Paz y Jara, 2014). Estas unidades agropecuarias, en términos generales, enfrentan limitaciones técnico/productivas y dificultades para la mercantilización de su producción, lo que conduce a que comúnmente estas sean concebidas como un síntoma de retraso financiero y un obstáculo para el desarrollo económico; no obstante, estas van señalando su fuerte presencia cuantitativa y su amplia distribución en el espacio rural (Frau *et al.*, 2017). Asumir que la pobreza se encuentra asociada a la estructura de la AF es partir de una concepción que menosprecia el desarrollo de una unidad productiva que permite a una familia ser sustentable, reproducirse y generar excedentes; es una visión que promueve la segregación de aquellas familias que lograron desarrollar una estrategia de producción, comercialización y administración que les permite sortear las vicisitudes del sistema (Frau *et al.*, 2017).

Hasta noviembre de 2014, existían 17.561 familias registradas por el Foro Provincial de la Agricultura Familiar (FoPAF) en la provincia de Santiago del Estero, de las cuales un poco más del 60% desplegaba una combinación de actividades agrícolas, ganaderas, artesanales, de recolección de frutos del monte y agroindustriales. Se destaca la complementación entre la agricultura y la ganadería en el 37,1% de los Núcleos de Agricultores Familiares (NAF) (Paz y Jara, 2014). De acuerdo con Martín (2014), la agricultura y la producción animal son las principales actividades en la AF, principalmente debido a su potencial de crecimiento y desarrollo.

De acuerdo con el análisis realizado por Paz y Jara (2014), el 93% de los NAF relevados corresponden a establecimientos

tipo 3 (el más pobre del sector agrario) y solo el 2% al tipo 1 (establecimientos capitalizados).

En el NOA, la AF tiene un gran potencial productivo para desarrollar el ámbito rural. Existen diversas formas de intervenir, las cuales generan importantes avances para el crecimiento del sector, basándose en formas de intervención participativas y diferenciadas.

Por todo lo que hemos desarrollado es que en la región NOA en general, y en nuestra provincia en particular, resulta fundamental acompañar la AF y encontrar soluciones a sus demandas específicas.

## **La producción caprina en Santiago del Estero**

La producción caprina es considerada una de las actividades más relevantes dentro de la AF, pues forma parte de las actividades casi esenciales de los pequeños productores en Santiago del Estero. Las explotaciones caprinas presentan atributos similares, como, por ejemplo, la simpleza en la unidad de producción y reproducción y el uso de mano de obra familiar, entre otros (Rodríguez, 2014).

De la producción caprina se desprenden dos grandes actividades; la producción de carne con la venta de cabritos y la producción láctea que se concentra principalmente en la elaboración de quesos.

Dada la naturaleza del trabajo de este equipo, abordaremos el área de la lechería caprina.

## **Un poquito de historia**

En pocas líneas, resumiremos la historia de la cuenca lechera para entender la situación actual y poder actuar (o intentar ac-

tuar) sobre ella.

La actividad lechera caprina fue muy importante entre los años 80 y 90 dentro de la provincia, destacándose a nivel nacional como una de las cuencas más importantes con aproximadamente 300 tamberos activos (Salinas *et al.*, 2017b).

La organización no gubernamental (ONG) *Fundación para el Desarrollo en Justicia y Paz* (FUNDAPAZ) fue un pilar importante para el desarrollo de la cuenca lechera. Ubicada en la localidad de Forres, departamento Robles de la provincia de Santiago del Estero, el objetivo de esta ONG fue fomentar el desarrollo rural de estas economías de subsistencia, sentando las bases de la cuenca lechera provincial (Paz *et al.*, 2002; Gutman *et al.*, 2004). FUNDAPAZ garantizaba la compra de leche fluida a los pequeños productores de la zona y la comercialización de los quesos elaborados en su planta quesera "Las Cabrillas". Además, ofrecía asistencia técnica y capacitaciones, como también microcréditos y subsidios mediante convenios con otras ONG (Salinas *et al.*, 2017b).

Otro pilar significativo fue la participación de una fábrica más pequeña llamada "La Carola SRL", que se incorporó a la cuenca en 2004. Dicha empresa se manejaba de manera similar a FUNDAPAZ en la compra de la leche y la comercialización de quesos, pero se diferenciaba en cuanto al establecimiento del precio de la leche y sus exigencias (Rodríguez, 2014).

Con el correr de los años y los vaivenes económicos, la continuidad de ambos proyectos se vio interrumpida ("La Carola" retomó su actividad unos años después), lo que obligó a muchos productores a dedicarse a otras actividades.

Si bien no existen datos oficiales que especifiquen la cantidad de tamberos que continúan en la actividad, son conocidos aquellos productores o emprendimientos familiares que actualmente continúan trabajando en lechería (Salinas *et al.*, 2017b), obteniendo leche y elaborando ellos mismo los quesos; pueden nombrarse como ejemplos a un productor de la

localidad de El Polear y otro en la localidad de Forres. Ambos con personalidades similares: emprendedores, con la capacidad de adelantarse al mercado y de entablar relaciones estratégicas con instituciones gubernamentales y públicas que les permiten mantenerse y crecer en la actividad.

Si bien cada uno de los productores y sus sistemas son particulares, enfrentan problemáticas similares, y en ellas hemos apuntado como equipo de investigación a fin de obtener resultados que les permitan mejorar sus sistemas y productos elaborados.

### ¿Qué problemas encontramos?

*Alimentación.* Uno de los principales problemas que deben afrontar los pequeños productores es la alimentación de los animales. La gran mayoría alimenta su majada a base de monte natural, reconociendo la mejor época de alimentación en primavera-verano, y la peor en otoño- invierno, la estación más cruda y difícil de transitar, donde se producen las mayores pérdidas de animales por desnutrición, enfermedades e hipotermia en las crías. Hay productores que cuentan con pasturas naturales o implantadas, ya sea con semillas compradas u obtenidas de programas provinciales de apoyo; sumado a esto, se resalta la utilización del monte nativo, el cual ofrece una diversidad de arbustos y árboles autóctonos que son fuente de alimentación en los caprinos, con aprovechamiento de sus frutos y nutrientes mediante su recolección y almacenamiento.

Los pequeños productores no cuentan con instalaciones que permitan controlar la alimentación o bien mejorarla con oferta seleccionada de acuerdo con las necesidades de los animales.

*Sanidad animal.* Si bien hay un pequeño grupo de productores que pueden realizar tratamientos sanitarios a las majadas, la mayoría de los ellos dependen de la acción estatal; es así que la parte sanitaria suele estar cubierta con los servicios gratuitos ofrecidos por el Departamento de Rumiantes Menores de la Dirección General de Agricultura y Ganadería (DGAyG) que incluye la aplicación de antiparasitarios y multivitamínicos, sumado al sangrado de animales de la majada para el control de brucelosis.

Los pequeños productores no suelen implementar controles referidos a la sanidad de los animales.

*Falta de renovación de la majada.* Con este término nos referimos a resguardar las crías hembras que nacen en la majada y contemplar su bienestar hasta que puedan actuar como madres; es decir, brindarles el primer servicio. Este es un manejo poco conocido por los productores lo cual, sumado al elevado gasto que implica mantener las crías hembras, hace que el productor prefiera venderlas al nacer, o bien, engordar y vender los kilos de carne. La falta de seguimiento de la majada no permite identificar a las cabras de mayor producción láctea, lo que sería de gran utilidad para reconocer las crías que serán buenas productoras de leche ya que la aptitud lechera es una característica heredable en complemento con la genética.

Por lo tanto, el control de la majada y la identificación de las cabras de mayor producción permitirían seleccionar las crías e invertir en ellas hasta que puedan entrar en la cadena productiva con servicios, partos y ordeño.

Problemas en el ordeño. Durante la realización del ordeño no suelen respetarse las Buenas Prácticas<sup>5</sup>; por ejemplo, no

se realiza sellado de pezones ni control de mastitis. Los productores tampoco suelen hacer controles lecheros debido al tiempo que esto insume y el desconocimiento de la importancia de su aplicación.

La falta de Buenas Prácticas de Ordeñe puede ocasionar contaminación de la leche y aumento de cabras con mastitis. No realizar los controles lecheros impide un seguimiento adecuado de la majada.

*Problemas en la comercialización y autoconsumo:* la comercialización es la gran limitante para el desarrollo de la AF, por lo que las asistencias técnicas y los proyectos siempre tienen como objetivo final mejorar las ventas de los productos.

Por otro lado, la informalidad de la comercialización, la falta de etiquetas con los requerimientos legales y la inscripción en las oficinas correspondientes impiden el acceso al comercio formal; es por esto que muchas veces los productores deciden vender sus productos en ferias de la AF.

El camino a la inscripción de estos establecimientos es largo, pero debe ser recorrido. El acompañamiento de técnicos a productores a fin de garantizar la inocuidad de los productos y el acondicionamiento de las salas de elaboración permitirá ir sorteando obstáculos hasta la obtención de los registros correspondientes.

---

como limpieza y secado de pezones, despunte y observación del estado actual de la leche, aplicación del California Mastitis Test y sellado de pezones con antisépticos. Además, de sanidad, alimentación e instalaciones para prevenir enfermedades.

## La intervención en los sistemas de agricultura familiar

Es muy importante tener en cuenta que los agricultores familiares en nuestro país, si bien tienen aspectos comunes, no constituyen un conjunto totalmente homogéneo. En un territorio tan grande y con marcadas diferencias ecológicas, distintos sistemas productivos, pluralidad étnica y experiencias históricas regionales diversas como es el nuestro, hay que profundizar tanto en lo común como en los aspectos y problemáticas particulares si se quieren hacer aportes pertinentes y adecuados (Frau *et al.*, 2019b).

Reconociendo las particularidades, potencialidades y problemáticas que ostentan y enfrentan los productores de economía familiar, es necesario desarrollar de manera conjunta entre la esfera institucional y los actores sociales involucrados un modelo de transferencia técnico/productiva hacia las economías de la AF que se ajusten a sus contextos y necesidades; esto permitirá realizar un aprovechamiento sostenible de los recursos con los que cuentan las explotaciones agropecuarias y que tiendan al mejoramiento de su calidad de vida (Frau *et al.*, 2017).

La cultura e idiosincrasia de los productores rurales exigen que además de una relación laboral se establezca una relación personal, en la que se respeten sus prácticas y conocimientos empíricos. La premisa para abordar el trabajo debe ser acordada previamente con cada productor, qué punto de su sistema desea cambiar y hasta donde permitirá las intervenciones (Frau *et al.*, 2019b).

Las instituciones públicas y privadas juegan un rol esencial en la AF. En la provincia podemos reconocer diversas entidades que brindan apoyo técnico al sector. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) realiza investigaciones y, luego de los resultados obtenidos, promueve su reproducción en otros productores. La Secretaría de Agricultura Familiar,

Campesina e Indígena (SAFCI) y el Ministerio de la Producción dependiente del Gobierno Provincial brindan asistencia técnica y apoyo a los pequeños productores mediante sus diversos programas. Asimismo, la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) trabaja desde hace muchos años, y de manera sostenida, con el sector de la AF, estableciendo estrechas relaciones entre docentes, estudiantes y productores, con el objetivo de crear un flujo constante de conocimientos y saberes.

### ¿Dónde trabajamos?

El establecimiento se encuentra ubicado en la localidad de El Pólear, departamento Banda, a 200 metros de la ruta 34 vieja. El sistema posee agua de red y perforación propia, energía eléctrica, gas envasado y utiliza leña en procesos que demandan alto consumo de energía.

El productor es propietario de 5 ha y otras 5 ha son cedidas por un vecino. Además, colinda con aproximadamente 30 ha de monte nativo de la zona, donde salen a pastorear las cabras. Solo los terrenos con título de propiedad se encuentran desmontados y con alambrado perimetral.

En el predio trabajan en total siete personas: tres mujeres en el ordeño y elaboración de productos, dos hombres encargados de los animales (principalmente abocados a la tarea de controlar la majada de cabras) y el matrimonio propietario del establecimiento.

La principal actividad del sistema es la obtención de leche y producción de quesos de cabra; el productor posee una majada de un poco más de 150 animales con alrededor de 60 cabras en ordeño. Existen partos dobles en su mayoría, pero no se descarta la posibilidad de encontrar partos triples, lo que lleva a que se produzcan algunas muertes al nacimiento, sobre todo en épocas donde no hay suficiente alimento para la



madre y donde el clima frío y húmedo afecta directamente a la cría.

En la majada existen dos grupos de hembras bien definidos para realizar los servicios, pero el productor no lleva registro de esto. El servicio es a monta natural, colocando el macho un mes completo con la majada para luego separarlo y utilizarlo nuevamente con el segundo grupo de cabras. En este establecimiento no se aplican protocolos de sincronización de celos ni técnicas de inseminación artificial.

La majada general es alimentada a base de monte natural; solamente el grupo de cabras en ordeño recibe una ración de maíz molido durante el ordeño y, además, en el corral de espera se les ofrece fardo de buena calidad.

## Diagnóstico y resultados de nuestro trabajo

Al realizar el estudio y determinar causas y consecuencias del estado de la majada, es imposible hacer divisiones entre los factores estudiados, ya que todos actúan sobre el sistema, lo que da como resultado la situación general de los animales. Es por esto, y atendiendo a los problemas anteriormente descritos, que analizaremos la situación de la majada en su conjunto abordando edad de los animales, alimentación, biotipo y sanidad animal.

Del trabajo realizado entre el equipo y el productor se logró caracterizar la majada, mediante la descripción de la genética que presenta, su condición general y la edad de los animales (Frau *et al.*, 2019b); estos valores se tomaron como punto de partida para intervenir en el sistema y mejorar estos indicadores.

En la Tabla 1 se muestran los resultados respecto a la edad aproximada de los animales de acuerdo con la cronometría dentaria o "boqueo" (Tinari *et al.*, 2014) para los años 1 y 3, mientras que en la Tabla 2 podemos ver el estado corporal

de las cabras (Suárez, 1996) en los mismos años. De acuerdo con estos resultados se determinó que la majada estaba formada, al inicio del estudio, por un elevado porcentaje (30%) de animales próximos a ser eliminados ya que presentaban dentición completa o desgastada, baja condición corporal o eran improductivos.

La baja condición corporal de toda la majada (animales con peso inferior al esperado) es consecuencia de la alimentación que recibían los animales; esto se analizará en el siguiente punto.

Cantidad de dientes	Edad aproximada	Año 1	Año 3
		%	%
Dientes de Leche	Hasta los 12 meses	8	5
2 dientes	10-18 meses	9	13
4 dientes	18-24 meses	5	3
6 dientes	24-36 meses	10	13
Boca Llena	36-48 meses	59	62
Boca llena medio diente	48 meses en adelante	7	4
Sin dientes	Más de 4 años	3	0
% Total		100	100
Total de animales		156	159

Tabla 1. Edad de los animales por cronometría dentaria

Condición corporal	Año 1	Año 3
	%	%
1	11	9
1,5	17	8
2	68	75
2,5	4	8
Total (%)	100	100
Total de animales	156	159

Tabla 2. Condición corporal de los animales de la majada

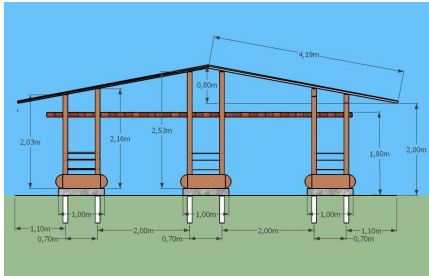
Ante los problemas detectados, y en un trabajo participativo, se logró que el productor, progresivamente, elimine las cabras de mayor edad y se identificaron las cabras con mayor producción de leche (Tabla 3), de manera que se mantuvieran sus crías en el establecimiento, con objeto de incorporarlas al plantel de madres (Frau *et al.*, 2018 y 2019a).

La baja condición corporal de toda la majada (animales con peso inferior al esperado) es consecuencia de la alimentación que recibían. Esta se realizaba exclusivamente a monte, es decir, los animales comían lo que estuviera disponible y se acompañaba una pequeña ración de maíz y alfalfa a las cabras en ordeño. Esto no era suficiente, especialmente en épocas donde la vegetación del monte disminuía (final del invierno). Otro problema relacionado a la alimentación a monte es que las cabras eran llevadas a comer a lotes adyacentes al predio, los cuales están siendo vendidos a particulares para la construcción de viviendas y barrios privados; es decir, la superficie disponible para el pastoreo está disminuyendo.

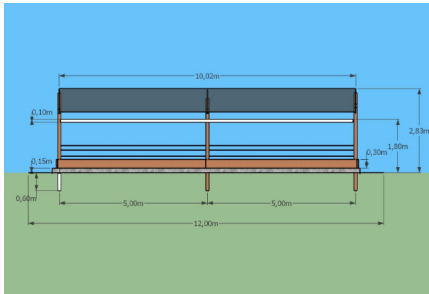
Dada la importancia y necesidad de mejorar la alimentación de los animales, se trabajó para la construcción de un comedero de bajo costo para racionamiento estratégico y almacenamiento de insumos (Figura 1). Se diseñaron 3 comederos de

10m x 1m, con una estructura en la parte superior para almacenar alimento, que permite abastecer a 120 animales. Estas instalaciones permiten ofrecer a la majada alimento seleccionado, lo cual resulta particularmente importante en las épocas en las que la vegetación del monte es escasa; además, el espacio de almacenamiento mantiene el alimento a resguardo de las inclemencias del tiempo y cerca de los animales, lo que significa una disminución del tiempo y el trabajo invertido por los productores. El comedero está construido con postes de tendido eléctrico reciclados (material que suele ser donado por las empresas de energía eléctrica o bien pueden adquirirse a un bajo costo), chapas y perfiles metálicos para sostener la estructura. Estas instalaciones influyen directamente en el estado de las cabras y esto se observa en los resultados presentados en la Tabla 2. Puede observarse el aumento de animales clasificados de acuerdo a la condición corporal como 2 y 2,5 y la disminución de los animales tipo 1 y 1,5 al comparar el año 3 con el año 1; todo esto indica que ha mejorado (en general) la condición corporal de la majada y, si bien esto debe continuar trabajándose en el tiempo a fin de que todos los animales tengan una condición igual o mayor a dos, los resultados obtenidos indican una franca mejoría (Frau *et al.*, 2018 y 2019a).

(a)



(b)



(c)

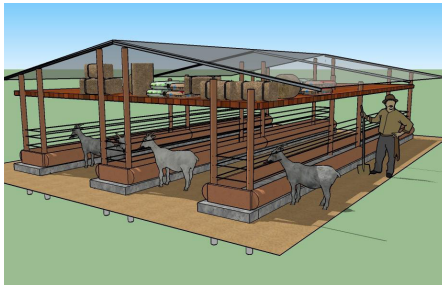


Figura 1. Comedero para racionamiento estratégico:  
a) Vista de frente; b) Vista Lateral; c) Perspectiva.

Con respecto a los biotipos de los animales que forman la majada, se puede ver en la Figura 2 su conformación. Se determinó que el 41% de la majada eran animales Anglo Nubian, caracterizados por una mediana producción, pero con altos contenidos de grasa y proteína, lo cual es beneficioso para la producción de quesos (Frau *et al.*, 2007). Se observó que dentro de la majada el productor contaba con dos machos raza Anglo Nubian destinados a dar servicio, lo que denotaba el conocimiento de la importancia de la genética en la majada y la preocupación por conservarla.

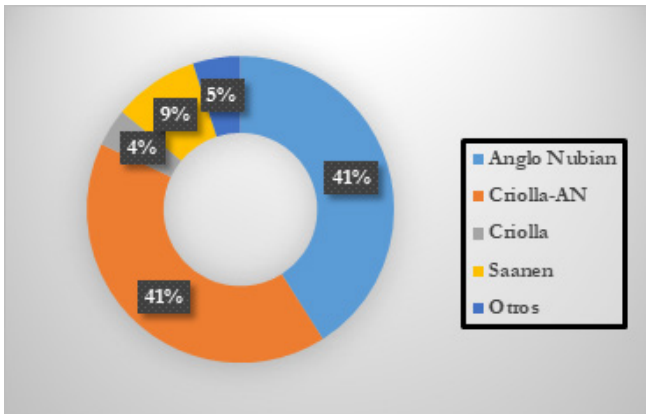


Figura 2. Caracterización de la majada según los biotipos de animales.

Como se ha mencionado, luego del trabajo realizado y los resultados obtenidos, el productor reconoció la necesidad de resguardar hembras nacidas para obtener un porcentaje de animales para reponer, al mismo tiempo que descarta los animales viejos.

Tuvo una gran importancia el control lechero realizado en el predio, a partir del cual fue posible identificar las cabras de

mayor producción de leche a efectos de separar sus crías, para que se invierta alimentación y tiempo en ellas, y luego incorporarlas posteriormente al plantel (Tabla 3).

Identificación	CC	Cantidad de partos	Duración de la lactación (días)	Producción acumulada (Kg)
2	1.5	4	180	109,72
3	2	4	229	176,29
5	1.5	4	191	132,21
9	2	2	214	154,83
16	2	2	195	150,60
20	2	4	259	140,78
32	2	4	195	115,07
34	2	4	214	116,83
35	1.5	4	200	148,89
37	1	4	200	115,71
39	2	3	229	170,15
47	2	4	197	153,15
49	2	4	384	264,28
50	2	3	245	185,38
51	1.5	4	293	187,18
52	2	4	229	175,90
55	1.5	5	180	120,64
57	2	4	259	226,46
58	3	3	229	227,95
59	1.5	4	293	245,83
63	2	5	202	146,18
66	2	4	183	164,29
71	2	4	256	164,11
72	2	4	245	219,84
75	1.5	6	202	135,15

76	2	4	180	151,96
77	1.5	4	229	146,08
80	1	4	229	160,35
81	1	4	229	160,00

CC: condición corporal

Tabla 3. Características de las cabras seleccionadas como de mayor producción lechera

Al comenzar el estudio de la calidad de leche, se detectó un elevado recuento de *Staphylococcus coagulasa* positiva (rango entre  $1,1 \times 10^3$  ufc mL<sup>-1</sup> y  $7 \times 10^2$  ufc mL<sup>-1</sup>) en las muestras de leche; la presencia de esta bacteria indica la alta incidencia de mastitis en el rebaño (Suárez *et al.*, 2014). Al realizar un análisis de las prácticas de ordeño, se detectó que el personal encargado de la tarea no realizaba el sellado de los pezones ni controlaba mastitis en la majada. Se realizó a partir de ese momento el control de mastitis en el rebaño empleando el Test de Mastitis California (CMT) (Suárez *et al.*, 2014). El CMT es fácil de realizar para los productores, su costo es bajo y el reactivo puede adquirirse en veterinarias o con los viajantes que venden insumos veterinarios (Frau *et al.*, 2018), ventajas que permiten su uso en tambos de pequeños productores.

Del trabajo realizado se pudo demostrar que al inicio del estudio el 20 % de la majada presentaba mastitis subclínica o no detectada, lo que generaba en el productor una pérdida económica diaria del 16,5%, ya que la leche proveniente de cabras infectadas debía ser desechada considerándose no apta para el consumo humano o para la elaboración de subproductos. La cabra debía ser tratada con antibióticos de amplio espectro (oxitetraciclina), y se realizó el ordeño solo con fines sanitarios, descartando la leche obtenida (Frau *et al.*, 2018).

Con estos resultados, el productor adoptó medidas preventivas tales como mayor higiene y limpieza de la tarima de ordeño, agregando el uso de soluciones antisépticas (iodopo-



vidona) para el sellado de pezones al finalizar el ordeño, a fin de reducir el contacto con microorganismos del ambiente, evitar gastos en antibióticos y disminuir pérdidas económicas (Frau *et al.*, 2018).

Con respecto a la incidencia de mastitis subclínica en el rebaño, se logró disminuir el porcentaje de cabras afectadas del 20 al 5% en 6 meses y al 2% en 8 meses. A partir del noveno mes se ha mantenido este porcentaje de cabras afectadas. Esto se logró por la implementación del sellado de pezones y el tratamiento de los animales infectados con antibióticos, que se aplicó de acuerdo al siguiente esquema:

a. Oxitetraciclina 3 mL día<sup>-1</sup> durante tres días seguidos. Si en los meses siguientes la cabra continuaba enferma o el resultado del control lechero era positivo se repetía el tratamiento.

b. Retiro de la leche durante 6 días.

c. Ante la persistencia de la infección en algunos animales, se implementó el uso del pomo intramamario y secado de la cabra.

d. Si luego del tratamiento con el pomo intramamario persistía la infección, se aconseja al productor retirar la hembra del plantel y destinarla solo a la función de madre<sup>6</sup>.

Con respecto a la mastitis subclínica, algunos autores indican que, ante la persistencia de la enfermedad, el animal debe ser eliminado del plantel (Suárez, 1996). Esto es muy difícil de implementar en pequeños productores puesto que si la cabra produce leche no será eliminada. En este estudio se comprobó que para productores rurales es eficiente continuar el tratamiento durante un tiempo prolongado. Se observó que del total de cabras con mastitis recurrente<sup>7</sup> (8 animales) solo una

6 Madres: cabras cuya leche no se utiliza para consumo y son destinadas a la función de amamantar las crías recién nacidas.

7 Para este trabajo se considera mastitis recurrentes la existencia de más de dos controles positivos consecutivos.

no respondió al tratamiento inyectable e intramamario y fue separada del plantel.

Con el objeto de que el productor continúe detectando los casos de mastitis, se instruyó al personal respecto a la implementación del CMT y se elaboró un manual de buenas prácticas de ordeño que se dejó a disposición del productor y del personal encargado de esta tarea (Frau *et al.*, 2018a). Del estudio realizado se comprende la importancia de que el productor controle y disminuya la aparición de mastitis en el rebaño.

## Reflexiones finales

El trabajo participativo realizado, respetando la cultura y prácticas de los productores involucrados, permitió el diseño, la puesta en práctica y el seguimiento de innovaciones propuestas para corregir las falencias detectadas; estas han sido mantenidas en el tiempo.

Si bien los ejemplos aquí nombrados no son extrapolables linealmente a otros espacios rurales, conocer su situación y cuáles fueron o son sus habilidades para adaptarse exitosamente a una realidad que se vuelve más competitiva día a día, permite plantear estrategias de acción e intervención orientadas a mejorar el ámbito de la agricultura familiar. Dar a conocer los trabajos realizados permite brindar conocimientos a otros productores que podrán copiar el ejemplo, e incluso mejorarlo, para hacerlo propio y adecuado a su producción.

Esto hace necesaria la incorporación de redes institucionales, tanto del sector público como del privado, que aseguren un flujo de recursos económicos orientados exclusivamente al sector de la AF, buscando mejorar y avanzar en el desarrollo rural. También surge la idea de plantearse nuevas redes de apoyo técnico que contemplen un seguimiento en el tiempo de las mejoras obtenidas por parte de los productores, sin caer

en el asistencialismo o dependencia de los programas.

A partir de la relación entablada fue posible trabajar conjuntamente en la presentación de proyectos que permitieron al productor obtener mejoras en su establecimiento como, por ejemplo, los siguientes: la adquisición de una envasadora al vacío, *freezer* y utensilios para la elaboración de alimentos; el diseño de *packaging* para los productos; la definición de una etiqueta de acuerdo a las normas legales vigentes; adquisición de materiales de construcción, entre los puntos más importantes.

Actualmente, el equipo continúa trabajando de manera participativa en diversos proyectos de biotecnología de productos lácteos, incluyendo a otros productores de la región.

## Bibliografía

- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Hacienda (2019). *"Censo Nacional Agropecuario. Resultados preliminares 2018"*. Buenos Aires: Instituto Nacional de Estadística y Censos INDEC.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura) (2014). *"Agricultores familiares: alimentar al mundo, cuidar el planeta"*. Roma, Italia: FAO.
- Frau, Florencia; Pece, Nora; Font, Graciela y Paz, Raúl. (2007). *"Calidad composicional de leche de cabras de raza Anglo Nubian en Santiago Del Estero"*. XI Congreso Argentino de Ciencia Y Tecnología de Alimentos. CYTAL. Buenos Aires, Argentina, pp. 56–59.
- Frau, Florencia; Leguizamón, Nelson; Salinas, Florencia y Albanesi, Ada. (2017). *"La ingeniería como respuesta a la demanda tecnológica y social de la Agricultura Familiar: El caso del Proyecto interdisciplinario DTEC -UNSE"*. 1º Congreso latinoamericano de ingeniería. Entre Ríos, Argentina.
- Frau, Florencia; Salinas, Florencia y Leguizamón Carate, Jorge Nelson. (2018). *Manejo de majadas caprinas lecheras y rutina de ordeño para pequeños productores. Guía de aplicación de buenas prácticas* (1ª ed.) Libro digital, ISBN 978-987-778-439-8. Santiago del Estero, Argentina.
- Frau, Florencia; Leguizamón Carate, Jorge Nelson; Salinas, Florencia y Pece, Nora. (2019a). *"Importancia del control lechero en un pequeño establecimiento lácteo caprino"*. XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA, (CODINOA).
- Frau, Florencia; Leguizamón Carate, Jorge Nelson y Salinas, Florencia. (2019b). *"El trabajo participativo como respuesta a las necesidades de productores rurales elaboradores de alimentos. Estudio de Casos"*. Agro Sur. 47(1), pp. 29–40.
- Gutman, Graciela; Iturregui, María y Filadoro, Ariel (2004). *Pro-*

*puestas para la formulación de políticas para el desarrollo de tramas productivas regionales. El caso de la lechería caprina en Argentina.* Buenos Aires: Ed. CEPAL. Serie Estudios y Perspectivas.

Huerga, Ignacio Roberto. (2012). *“La Agricultura Familiar. Un sustento para la vida de la familia en el campo”*. INTA. Artículo de divulgación.

Leguizamón Carate, Jorge Nelson; Salinas, Florencia; Pece, Nora; Argañaraz, Rodolfo; Albanesi, Ada y Frau, Florencia. (2017). *“Estudio preliminar de la calidad microbiológica en un tambo caprino de Santiago del Estero”*. XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA (CODINOA).

Martín, Facundo. (2014). *“La agricultura familiar campesina en Argentina. Contextos, concepciones y experiencias organizativas para la soberanía alimentaria”*. Revista ALASRU. (9), pp. 83-101.

Nogueira, María Elena. (2013). *“Agricultura familiar y políticas públicas en la Argentina de los últimos años. Algunas reflexiones en torno a una relación compleja”*. Trabajo y Sociedad. (21), pp. 49-66.

Obschatko, Edith; Foti, Ma. del Pilar y Román, Marcela. (2007). *“Los pequeños productores en la República Argentina. Importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al censo nacional agropecuario 2002”*. Buenos Aires: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos. Dirección de Desarrollo Agropecuario: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.

Paz, Raúl; Álvarez, Ramón; Lipshitz, Héctor; Degano, Claudia; Usandivaras, Pablo; Castaño, Lastenio; Lamadrid, Santiago y Togo, Javier. (2002). *“Sistemas de producción campesinos caprinos en Santiago del Estero. Proyección y desafíos para el desarrollo del sector”*. Santiago del Estero, Argentina: FUNDAPAZ.

Paz, Raúl y Rodríguez, Ramiro. (2009). *“La eficiencia de la agricultura familiar en Argentina: retomando la esencia de la*

- relación inversa*". XXVII Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología. VIII Jornadas de Sociología de la Universidad de Buenos Aires.
- Paz, Raúl. (2013a). *"El potencial de la agricultura familiar y los espacios protegidos: lineamientos para el diseño de políticas públicas"*. Mundo Agrario. 13 (26), pp. 1-27.
- Paz, Raúl, Jara, Cristian y Nazar, Paola. (2013b). *"Economía Social y Agricultura Familiar. La experiencia de la Feria de Villa Río Hondo (Argentina)"*. Revista Venezolana de Economía Social. 13 (25), pp. 53-74.
- Paz, Raúl y Jara, Cristian. (2014). *"Censos y registros de la agricultura familiar en Argentina: esfuerzos para su cuantificación"*. Eutopía. Revista De Desarrollo Económico Territorial. (6), pp. 75-91.
- Rodríguez, Ramiro. (2014). *"Venezuela ¿Representa el capital un limitante para la productividad en la Agricultura Familiar? Un estudio de caso en Santiago del Estero, Argentina"*. Revista Venezolana de Economía Social. (14), pp. 9-34.
- Rodríguez, Ramiro; Paz, Raúl; Suárez, Victoria y Díaz, Juan Pablo. (2015). *"Construyendo mercados desde la propia finca. Tres experiencias en la agricultura familiar"*. Agro Sur. 43(1), pp. 3-17.
- Salinas, Florencia; Leguizamón Carate, Jorge Nelson; Roldán, Diego; Albanesi, Ada y Frau, Florencia. (2017a). *"Estudio de la majada en una pequeña explotación lechera caprina"*. XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA (CODINOA).
- Salinas, Florencia; Leguizamón Carate, Jorge Nelson; Albanesi, Ada y Frau, Florencia (2017b) *"Historia y situación actual de la cuenca lechera caprina en el área de riego de Santiago del Estero"*. XVI Congreso CyTAL.
- Salinas, Florencia; Leguizamón Carate, Jorge Nelson y Frau, Florencia. (2017c). *"Acompañamiento técnico a productor lechero caprino artesanal en la reposición de hembras y mejora de la majada"*. XIV Encuentro de Jóvenes Investigadores (EJI).

- Suárez, Víctor. (1996). *"Buenas prácticas de manejo sanitario para el tambo ovino"*. Salta, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).
- Suárez, Víctor; Martínez, Gabriela; Gianre, Vilma; Calvino, Luis; Rachoski, Alicia; Chavez, Mónica; Salatin, Antonio; Orozco, Silvia, Sanchez, Victoria y Bertoni, Emiliano. (2014). *"Relaciones entre el recuento de células somáticas, test de mastitis California, conductividad eléctrica y el diagnóstico de mastitis subclínicas en cabras lecheras"*. RIA-Revista de Investigaciones Agropecuarias. 40 (2), pp. 145–153.
- Tinari, Mauricio; Lynch, Gloria; Mc Cormick, Mercedes y Simonetti, Livio. (2014). *"Determinación de la edad en el ovino: práctica de boqueo"*. Revista de Divulgación Técnica Agropecuaria, Agroindustrial y Ambiental. (2), pp. 26–32.

# FLORA LEÑOSA DE BOSQUES SERRANOS EN SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

MANUEL O. PALACIO<sup>1</sup>; ENRIQUE ROGER<sup>2</sup>; SERGIO O. VECCHIOLI<sup>3</sup>

## Resumen

Para relevar la diversidad de la flora leñosa en bosques de serranía en Santiago del Estero, se efectuaron expediciones botánicas entre 2013 y 2018 en las Sierras de Guasayán, Sumampa y Ambargasta y el Cerro El Remate. En parcelas circulares en laderas y principales quebradas se registró presencia, hábito y estado fenológico de árboles, arbustos, subarbustos y trepadoras. Se colectó material que fue depositado en el Herbario del Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic" de la FCF-UNSE. Se consultaron colecciones de herbarios, antecedentes bibliográficos y bases de datos botánicos. Un total de 223 especies

1 Prof. Asociado Regular, Cátedra Botánica Forestal, Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic", Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Director de Proyecto. Dirección de contacto: mpalacio@unse.edu.ar

2 JTP Cátedra Botánica Forestal, Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic", Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

3 Auxiliar Docente de Primera Categoría, Cátedra Botánica Forestal, Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic", Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.



leñosas fueron relevadas, las que se catalogan indicando familia botánica, nombres científicos, hábito y estatus. Fabaceae es la familia mejor representada (16,4% de las especies). Son 40 las especies endémicas presentes, una de ellas exclusiva de la flora santiagueña. Los arbustos son preponderantes (55%) respecto a las otras formas de vida. Se refieren 32 nuevas citas florísticas para la provincia. Esta información resulta un aporte genuino y valioso para el conocimiento de la flora local y ratifica la importancia de los bosques serranos por ser una zona de endemismos, respaldando la necesidad de acciones orientadas a su conservación y protección.

Palabras clave: flora leñosa, flora, Santiago del Estero, bosques de serranías

### **Abstract**

In order to record the diversity of woody flora in hill forests in Santiago del Estero, botanical expeditions were carried out between 2013 and 2018 in the Sierras de Guasayán, Sumampa and Ambargasta and Cerro El Remate. In circular plots on slopes and main ravines, the presence and habit of trees, shrubs, sub-shrubs and climbing plants was recorded. Plant material was collected and deposited in the Herbarium of the Botanical Garden "Ing. Lucas D. Roic" FCF-UNSE. Herbarium collections, bibliographic background, and botanical databases were consulted. A total of 223 woody species were surveyed, which are cataloged indicating botanical family, scientific names, habit and status. Fabaceae is the best represented family (16.4% of all species). 40 endemic species are present, one of them exclusive to the flora of Santiago. Shrubs are predominant (55%) in relation to other life forms. There are 32 new flower appointments for the province. This information is a genuine and valuable contribution to the knowledge of local flora and

confirms the importance of mountain forests for being a clear area of endemism, supporting the need for actions aimed at their conservation and protection.

Key words: woody flora, Santiago del Estero, hills forest

## Introducción

El conocimiento de la composición florística de una región es información sumamente necesaria para la investigación aplicada y la toma de decisiones vinculadas con el manejo de los recursos naturales, puesto que generalmente incluye plantas vinculadas a procesos productivos, servicios ecosistémicos y prácticas culturales (Palacio, 2015).

El término *flora* se emplea comúnmente para designar al conjunto de especies vegetales que crecen en una determinada región, sean tanto autóctonas como exóticas (Palacio y Roger, 2016), mientras que por *flora autóctona* o nativa se entiende la composición florística propia de una región o país, "que crece salvaje, sin tipo de cultivo alguno" (Font Quer, 1975). De ahí que, al hablar de flora nativa, se hace referencia a las especies propias del área considerada, que se adaptaron a las particularidades del suelo y del clima en procesos que duraron siglos, y son capaces de prosperar en estos ambientes sin que se produzca la intervención del hombre. En el campo de la botánica suele emplearse el término *endémico* para referirse a aquellos taxones que son exclusivos de un país o región, es decir, aquellas plantas que siendo autóctonas tienen una distribución restringida, por lo que están presentes solo en un determinado lugar. Si bien se pueden diferenciar distintos tipos de endemismos, es claro que la información sobre la presencia de estas especies es útil para la revalorización y conservación del patrimonio florístico, ya que son un indicio de la historia

evolutiva de las especies y su relación con patrones biogeográficos (Font Quer, 1975; Noguera Urbano, 2017; Duno de Stefano, 2010).

Santiago del Estero, con una superficie estimada en 136.351 km<sup>2</sup>, es una provincia ubicada en la llanura chaqueña y en el centro del Gran Chaco Sudamericano, vasta unidad fitogeográfica con una gran diversidad biológica. La mayor parte de la superficie provincial se encuentra comprendida dentro del Distrito Chaqueño Occidental y una pequeña porción inserta en el Distrito Chaqueño Serrano (Cabrera, 1971; Morello y Adámoli, 1968 y 1974). En Santiago del Estero, el bosque de serranías está representado por los siguientes los cordones serranos (Ver Figuras 1, 2, 3 y 4):

1 - Las sierras de Guasayán: cordón orográfico ubicado al sudoeste provincial a lo largo de 100 km en el oeste provincial e integrado a las Sierras Pampeanas, son una continuación de las Sierras de Ancasti y la parte más oriental del Sistema Aconquija. Cubren una superficie aproximada de 60.000 ha. Con una altitud máxima estimada en 717 msnm, nace al sur del departamento Río Hondo y se extiende sobre los departamentos Guasayán y Choya, con un ancho menor a los 4 km (Figura 2). Esta región se caracteriza por su clima benigno, con abundancia de agua que surge de manantiales y forma pequeños arroyos, algunos permanentes, en profundas quebradas. El paisaje está conformado por densos bosques en las laderas húmedas, con abundancia de epifitas, cactáceas, helechos y lianas. (Palacio *et al.*, 2020).

2 - Las sierras de Sumampa y Ambargasta, un sistema serrano del centro-norte de Argentina y presente al sur de la provincia de Santiago del Estero, que se extiende desde la parte central del departamento Quebrachos hasta el oriente del departamento Ojo de Agua, y cubre una superficie aproximada de 30.000 ha, con una altitud estimada en 500-600 msnm. La vegetación característica de esta zona presenta particula-

ridades relacionadas con la influencia del Chaco Árido en las laderas occidentales y del Chaco Occidental en las laderas más húmedas (norte y este) (Figura 3). El bosque cuenta con representantes arbóreos típicos de la región, con elementos de pastizales originados por la quema con fines productivos y manchones de "palmeras". (Palacio *et al.*, 2020)

3 - El cerro El Remate, ubicado en el noroeste provincial, en el departamento Pellegrini, es una elevación de mayor altura, estimada en 600 msnm y se extiende por una longitud de 7 km y un ancho de 3 km en dirección NE-SW, entre los límites de Santiago del Estero y Salta, y próximo a los límites con la provincia de Tucumán (Figura 4 A). La vegetación está constituida por árboles de gran porte en la cumbre y arbustos dominantes en el pedemonte, a los que acompañan variedad de trepadoras, epifitas y plantas herbáceas. (Varela *et al.*, 2002; Hernández, 2014)

4 - El cerro Cantero es una elevación cercana al Cerro El Remate, de la que dista aproximadamente 12 km (Varela *et al.*, 2002) y que se ubica sobre el límite interprovincial de Salta y Santiago del Estero (Figura 4 B). Con una altura estimada en 800 msnm y una extensión aproximada de 9 km (Hernández y Giménez, 2017), su difícil acceso hace que se disponga de muy poca información sobre los datos relacionados con la orografía y características geológicas. (Mon y Gutiérrez, 2007)

Diversos autores locales aportaron información relacionada con la composición florística de los bosques santiagueños. Según Ledesma (2009), la comunidad biológica del ecosistema chaqueño está constituido por árboles distribuidos en tres estratos, arbustos en varios niveles de altura y plantas herbáceas de diverso porte, acompañados de enredaderas, epifitas y musgos. Haciendo alusión a la composición del bosque chaqueño, por ejemplo, Giménez *et al.* (2011) sostienen que la di-

versidad vegetal está representada por árboles (28,6%), arbustos (48,3%), plantas crasas (21,8%) y palmeras (1,3%), mientras que Roger et al. (2019) indican la preponderancia de leñosas en la fisonomía del bosque de llanura. Otros trabajos refieren a la composición florística de los bosques serranos de la provincia señalando las especies leñosas presentes en estas áreas (Giménez et al., 2017; Giménez y Noir, 1987; Hernández y Giménez, 2016 y 2017; Varela et al., 2002; Carrizo et al., 2015; Palacio et al., 2017). Por otra parte, Giorgis et al. (2011) se refirieron a la composición florística de los bosques del norte de Córdoba, que son una continuación de los bosques nativos de las Sierras de Sumampa y Ambargasta.

El objetivo de este trabajo es proporcionar información actualizada acerca de la composición florística leñosa de los bosques serranos de Santiago del Estero.

## **Materiales y Métodos**

El área de estudio comprendió los bosques de los cordones serranos de las Sierras de Guasayán, las Sierras de Sumampa y Ambargasta y el Cerro El Remate. En el periodo comprendido entre 2013 y 2018, se efectuaron expediciones botánicas en distintas estaciones del año para relevar la diversidad vegetal de leñosas. Se delimitaron parcelas circulares de 78 m<sup>2</sup> (Thren y Zerda, 1994) en ambas laderas y las principales quebradas de las serranías. En ellas se registró presencia de árboles, arbustos, subarbustos y trepadoras leñosas, y para estas últimas, además, mecanismos de ascenso. Se recolectó y herborizó material vegetal siguiendo técnicas convencionales. Una vez determinado (a nivel específico y en ocasiones a nivel infra-específico), el material fue acondicionado y depositado en el Herbario del Jardín Botánico "Ing. Lucas D. Roic" de la Facultad de Ciencias Forestales-UNSE (SDE).

Los datos obtenidos a campo se confrontaron y complementaron con la revisión de material depositado en los herbarios del Jardín Botánico de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Fundación Miguel Lillo. Se procedió también con la revisión de bases de datos botánicos y antecedentes bibliográficos relacionados con la diversidad de bosques en Santiago del Estero, a los fines de elaborar el catálogo actualizado de la flora leñosa de los bosques serranos que se presenta en este trabajo (Giménez et al., 2011; Varela et al., 2002; Giménez y Noir, 1987; Hernández y Giménez 2016 y 2017; Carrizo et al., 2015; Palacio et al., 2017; Roic y Villaverde, 2007).

Para el tratamiento taxonómico de las especies se siguió el Sistema APG (Stevens, 2001) y en la asignación de los nombres científicos actuales se tuvieron en cuenta las bases de datos botánicos The Plant List (2020) y Flora Argentina (2020).

En lo que respecta al "hábito" o forma de crecimiento de las plantas, en las observaciones en terreno se tuvieron en cuenta los criterios propuestos por Demaio *et al.*, (2002), Font Quer (1975) y Cabanillas y Hurrell (2012) y para la clasificación de las trepadoras y sus mecanismos de ascenso se tuvo en cuenta a Lahitte y Hurrell (2000). Con base en estos criterios se establecieron las siguientes categorías:

- Árbol: vegetales leñosos que desarrollan un tronco principal perenne de al menos 7 cm de diámetro a la altura de pecho (1,3 m), con una altura total de por lo menos 4 m y que en un punto denominado "cruz" se ramifica y desarrolla una copa.

- Arbusto: vegetal leñoso, menor de 5 m de altura, sin un tronco preponderante, es decir, ramificado desde la base.

- Subarbusto: plantas perennes y de tallos leñosos, como los arbustos, de los que se distinguen por su menor porte o por su menor duración. Por lo general, no sobrepasan 1 m de altura.

- Trepadoras: plantas que en su estado adulto no se mantienen erguidas por sí mismas y se encaraman sobre distintos

soportes, manteniendo la conexión con el suelo. Cuando son leñosas reciben el nombre de "lianas". Dentro de esta definición se incluyen los "arbustos trepadores" que crecen apoyándose sobre sus soportes.

En cuanto se refiere al "estatus", bajo el término "nativo" se incluyen especies autóctonas de la flora santiagueña, considerándose "exóticas" o "introducidas" a aquellas asilvestradas y/o escapadas de cultivo y originarias de otras regiones (Font Quer, 1975; Demaio *et al.*, 2002). Para la atribución del origen geográfico de las plantas relevadas se tomó de referencia las bases de datos on-line Flora del Cono Sur (IBODA, 2020) y Flora Argentina. De igual manera, se emplearon estas mismas bases de datos para corroborar la distribución en Argentina de las especies identificadas y señalar aquellas cuya presencia no está indicada para la provincia de Santiago del Estero, las que se indican en consecuencia como nuevas citas para la flora local.

Para reseñar las especies endémicas de la provincia de Santiago del Estero, de la región chaqueña o de la Argentina, se analizaron los patrones de distribución de las especies relevadas; se recurrió, además, a la información proporcionada en las bases de datos mencionadas precedentemente, a la revisión de bibliografía específica y a la consulta del Herbario Fanerogámico del Instituto Miguel Lillo (LIL), Tucumán, Argentina.

Mediante el coeficiente de similitud de Jaccard (Krebs, 1989), se comparó la diversidad de especies leñosas de las tres formaciones serranas incluidas en este trabajo, con el objetivo de establecer el grado de semejanzas entre las áreas. El intervalo de valores para el índice de Jaccard va de 0, cuando no hay especies compartidas entre los sitios que se comparan, hasta 1, cuando los dos sitios tienen la misma composición de especies. Para ello se empleó la ecuación:

$$J_j = c / (a + b - c)$$

donde:

**a** = número de especies presentes en el sitio A

**b** = número de especies presentes en el sitio B

**c** = número de especies comunes en los sitios A y B

## Resultados

La diversidad de la flora leñosa de bosques de serranías en Santiago del Estero está constituida por 223 especies incluidas en 42 familias y 133 géneros de plantas vasculares (Tabla 1). Todas las especies pertenecen al grupo de las angiospermas, salvo una, *Ephedra triandra*, que corresponde a las gimnospermas y que es el único representante de este grupo en la flora local.

Las familias más diversas fueron *Fabaceae*, con el 16,4% de las especies, seguidas de *Asteraceae* (10,5%) y *Verbenaceae* (9,5%). El 60% de las especies registradas están incluidas en 7 familias (Figura 5). Dentro de *Fabaceae*, el género mejor representado es *Prosopis*, con 12 especies. La familia *Cactaceae* está representada por 10 especies, incluidas en los géneros *Cereus*, *Opuntia*, *Pereskia* y *Stetsonia*.

Del total de las especies registradas, 37 son comunes a los tres cordones serranos, de los que las Sierras de Guasayán resulta ser el sitio con mayor diversidad de leñosas (156 especies). En la Tabla 2 se presentan los valores del índice de Jaccard que indica que la mayor semejanza en la diversidad de leñosas corresponde a las sierras de Guasayán y la de Sumampa y Ambargasta, con 97 especies presentes en ambos sitios. En la figura 6 se muestra el número de familias, géneros y especies registrados en cada uno de los sistemas serranos.

En cuanto al hábito o forma de vida de la vegetación leñosa, existe una marcada preponderancia de los arbustos sobre



otras formas de vida ya que representan el 55% de la diversidad vegetal (Figura 7). Las cactáceas arbóreas y arbustivas representan el 5% de la flora serrana. Se relevaron 14 especies de lianas y 6 arbustos apoyantes, que representan el 29% y 11%, respectivamente, del total de trepadoras presentes en el área de estudio (Grafico 4). En su mayoría, las lianas son volubles, es decir, crecen enroscándose sobre sus soportes.

Teniendo en cuenta el origen geográfico de las especies, el 97% son nativas de la flora santiagueña, y de ellas 40 están incluidas en la categoría de "endémicas", que representan el 19% de las plantas relevadas a campo, algunas de las cuales se presentan en la Figura 8. Una sola especie, *Hyaloseris andrade-limae*, es endémica de la flora santiagueña, señalada para las sierras de Guasayán y en esta oportunidad relevada también en el cerro El Remate; siendo el primer registro de este taxón en ese sitio (Figura 9). Se registraron solo 6 especies introducidas. Se informan 32 nuevas citas para la flora de Santiago del Estero, las que se presentan en la Tabla 3

## Discusiones y conclusión

Los resultados presentados incrementan la información disponible sobre la diversidad florística de los bosques de serranías en Santiago del Estero, lo que contribuye a un mayor conocimiento de la flora de la provincia. En este sentido, el número de especies leñosas relevadas a campo se amplía notoriamente a función de lo citado por Giménez *et al.* (2017), Giménez y Noir (1987), Hernández (2014), Hernández y Giménez (2016) y Varela *et al.* (2002), entre otros autores.

De esta manera, la información florística serrana presentada es la más extensa, respecto a la conocida hasta el momento. En cuanto al número de especies leñosas, los resultados son similares a los mostrados en otros estudios realizados en

la provincia (Roger *et al.*, 2019; Roic *et al.*, 1999) y en particular con los señalados para los bosques serranos de la vecina provincia de Córdoba (Giorgis *et al.*, 2011).

La familia *Fabaceae* es la de mayor representación local entre las especies leñosas, algo que ya fuera indicado para otras unidades ambientales de la provincia (Roger *et al.*, 2019; Roic y Villaverde, 1987). También es importante la diversidad de las familias *Asteraceae*, *Cactaceae*, *Euforbiaceae*, *Malvaceae*, *Solanaceae* y *Verbenaceae*. Sería conveniente, a futuro, extender los estudios florísticos en otras unidades ambientales de la provincia (humedales, áreas de ribera, salinas) para enriquecer y contribuir al conocimiento de la flora local en este contexto.

Las novedades florísticas aquí incluidas dan cuenta de la necesidad de profundizar los estudios de la flora de la provincia, en particular ante el actual escenario ambiental que amenaza el hábitat de estas especies. A su vez, se remarca la importancia de los bosques serranos para la conservación de las especies, sobre todo como reservorio de endemismos.

Se evidencia la importancia de los arbustos en la composición de los bosques serranos de Santiago del Estero en cuanto que presentan el mayor porcentaje entre los distintos biotipos, lo que sugiere remarcar su rol en la estructura del bosque, ya que tal como plantean Gutiérrez y Squeo (2004), particularmente en regiones áridas y semiáridas, cumplen importantes funciones ecológicas y están involucrados en el desarrollo de diversas actividades productivas. En este sentido, conviene mencionar que muchas de las especies leñosas que componen la flora serrana presentan antecedentes de diversos usos populares por parte de las poblaciones rurales, tal como lo manifiestan Roic y Villaverde (2007), Togo (1990), Palacio *et al.* (2007), Carrizo y Palacio (2013), Carrizo *et al.* (2015), Palacio (2015) y Palacio y Roger (2016), lo que les otorga singular importancia como productos forestales no madereros (PFNM) y sientan bases que justifican la conveniencia de futuros son-

deos etnobotánicos para ratificar el valor sociocultural y productivo de estas especies en las zonas serranas.

La información obtenida en relación a los endemismos, y considerando el número significativo de especies con este atributo, confirma el valor de los bosques serranos como importantes reservorios de plantas endémicas, lo que insta a proponer estrategias de manejo orientadas a su conservación.

## Bibliografía

- Basualdo, Mario (1981). *Rasgos fundamentales de los Departamentos de Santiago del Estero*. Tomo I. Santiago del Estero: Ed. Municipalidad de Santiago del Estero.
- Cabanillas, Pablo Alejandro y Hurrell, Julio Alberto (2012). "Plantas trepadoras: tipo biológico y clasificación". *Revista Cs. Morfol.* 14 (2), pp. 1-15.
- Cabrera, Ángel Lulio (1971). "Fitogeografía de la República Argentina". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica.* 14(1-2), p 50.
- Carrizo, Elizabeth del V. y Manuel Oscar Palacio (2013). "Empleo de plantas nativas por poblaciones rurales de Santiago del Estero". En A. S. Albanesi, R. Paz, M. T. Sobrero, S. Helman y S. Rodríguez (Editores) *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial. De la FAYA al NOA* (pp. 269-284). Tucumán, Argentina: Ediciones Magna.
- Carrizo, Elizabeth del V.; Palacio, Manuel Oscar; Muller, Hugo Jan; Epstein Vittar, Fernanda y Céspedes, Fernando (2015). "Especies de interés apícola en la flora del departamento Ojo de Agua, Santiago del Estero, Argentina". *Revista Quebracho.* 25(1,2), pp. 100-104.
- Demaio, Pablo; Karlin, Ulf Ola y Medina, Mariano (2002). *Árboles Nativos del Centro de Argentina*. Buenos Aires: Ed. L.O.L.A.
- Duno de Stefano, Rodrigo (2010). "Endemismo: un concepto siempre de moda". *Desde el Herbario CICY.* (2), pp. 64-65.
- Font Quer, Pío. (1975). *Diccionario de Botánica*. 5º Edición. Barcelona, España: Editorial Labor S.A.
- Flora Argentina (2019). Instituto de Botánica Darwinion. Base de Datos. <http://www.darwin.edu.ar>
- Giménez, Ana María; Hernández, Patricia; Figueroa, María Eugenia y Barrionuevo, I. (2011). "Diversidad del estrato arbóreo en los bosques del Chaco Semiárido". *Quebracho.* 19(1,2), pp. 24-37.
- Giménez, Ana María; Hernández, Patricia y Figueroa, María Eu-

- genia (2017). "La diversidad forestal en el Chaco Semiárido". En Giménez, A. M. y J. G. Moglia (Eds.) *Los bosques actuales del chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad una mirada propositiva* (pp. 45-80). Santiago del Estero, Argentina: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Giménez de Bolzón, Ana María y Abraham de Noir, Fidelina (1987). "Notas preliminares sobre la formación boscosa de las sierras de Guasayán - Aspectos dendrológicos de las principales especies leñosas". *Memorias IV Jornadas Técnicas sobre Bosques Degradados* (pp. 24-50). El Dorado, Misiones, Argentina.
- Giorgis, Melisa A.; Cingolani, Ana María; Chiarini, Franco; Chiappella, Jorge; Barboza, Gloria; Ariza Espinar, Luis; Morero, Rita; Gurvich, Diego E.; Tecco, Paula; Subils, Rosa y Cabido, Marcelo (2011). "Composición florística del Bosque Chaqueño Serrano de la provincia de Córdoba, Argentina". *Kurtziana*. 36(1), pp. 9-43.
- Gutiérrez, Julio R. y Squeo, Francisco A. (2004). "Importancia de los arbustos en los ecosistemas semiáridos de Chile". *Ecosistemas*. 13(1), pp. 36-45.
- Hernández, Patricia del C. (2014). *Diversidad estructural y composición de un bosque serrano de la provincia de Santiago del Estero, Argentina*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales – Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Hernández, Patricia y Giménez, Ana María (2016). "Diversidad, composición florística y estructura en el Chaco Serrano, Argentina". *Madera y Bosques*. 22(3), pp. 37-48.
- Hernández, Patricia y Giménez, Ana María (2017). "Los bosques del Chaco Serrano Santiagueño. Propuesta metodológica". En Giménez, A. M. y J. G. Moglia (Eds.) *Los bosques actuales del chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad una mirada propositiva* (pp. 81-104). Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Instituto de Botánica Darwinion. IBODA (2020). *Catálogo de Plantas Vasculares de Flora del Cono Sur*. <http://www.>

- darwin.edu.ar/Proyectos/FloraArgentina/fa.htm
- Krebs, Charles Joseph (1989). *Ecological Methodology*. New York: Harper & Row.
- Lahitte, Héctor B. y Hurrell, Julio Alberto (2000). "Las plantas trepadoras más comunes de la Región Rioplatense". Colección Biotá Rioplatense V. Plantas trepadoras nativas y exóticas. Buenos Aires: Ed. L.O.L.A.
- Ledesma, Néstor René (2009). "Función ambiental del ecosistema forestal chaqueño". En: Giannuzzo, A. N. *Cambios y problemas ambientales: perspectivas para la acción*. Universidad Nacional de Santiago del Estero
- Mon, Ricardo y Gutiérrez, Adolfo (2007). "Estructura del extremo sur del sistema subandino (provincias de Salta, Santiago del Estero y Tucumán)". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 62(1), pp. 62-68.
- Morello, Jorge y Adámoli, Jorge (1968). "Las grandes unidades de vegetación y ambiente del Chaco Argentino". Primera parte. *INTA. Serie fitogeografía*. (10), pp.1-25.
- Morello, Jorge y Adámoli, Jorge (1974). "Grandes unidades de vegetación y ambiente del chaco argentino: vegetación y ambientes de la provincia de Chaco". Segunda parte. *INTA. Serie Fitogeográfica*. (13).
- Noguera Urbano, Elkin. A. (2017). "El endemismo: diferenciación del término, métodos y aplicaciones". *Acta Zoológica Mexicana*. 33(1), pp. 89-107.
- Palacio, Manuel Oscar; Carrizo, Elizabeth y Roic, Lucas (2007). "Relevamiento de Plantas tintóreas utilizadas en localidades del Dpto. Atamisqui (Santiago del Estero, R. Argentina)". *Kurtziana* 33(1), pp. 73-78.
- Palacio, Manuel Oscar (2015). "Recursos genéticos, conocimiento popular y desarrollo tecnológico: una mirada a la situación en Santiago del Estero". *Prodiversitas*. 2(2).
- Palacio, Manuel O.; Carrizo, Elizabeth; Roger, Enrique; Coria, Oscar y Epstein Vittar, María F. (2017). "Flora leñosa de interés apícola en bosques serranos de Choya y Guasayán, Santiago del Estero". En A. S. Albanesi, R. Paz, M. T. Sobrero,

- S. Helman y S. Rodríguez (Editores) *Hacia la construcción del desarrollo agropecuario y agroindustrial. De la FAYA a NOA II* (Tomo 2, pp. 15-23). Tucumán, Argentina: Ediciones Magna.
- Palacio, Manuel Oscar y Roger, Enrique (2016). Árboles autóctonos de Santiago del Estero. Guía para su reconocimiento en el Jardín Botánico "*Ing. Ftl. Lucas D. Roic*". Santiago del Estero: EDUNSE.
- Palacio, Manuel Oscar; Roger, Enrique; Carrizo, Elizabeth; Céspedes, Fernando; Díaz, Rita de los Ángeles y Vecchioli, Sergio O. (2020). "Diversidad y usos populares de arbustos en bosques serranos de Santiago del Estero, Argentina". En: Sacchi et al. *Territorio e Innovación: Actas del 2º Congreso Internacional del Gran Chaco Americano, 2017* (págs. 363-377). Santiago del Estero, Argentina: Bellas Alas Editorial.
- Roger, Enrique; Palacio, Manuel Oscar; Díaz, Rita de los Ángeles y O'Leary, Nataly. (2019). "Composición de la flora vascular en la región noreste de Santiago del Estero (Argentina)". *Caldasia*. 41(1), pp. 235-243.
- Roic, Lucas D. y Villaverde, Alberto A. (1987). "Antecedentes para una excursión botánica a la Sierra de Guasaya, Provincia de Santiago del Estero". XXI Jornadas Argentinas de Botánica. Santiago del Estero, Argentina.
- Roic, Lucas y Villaverde, Alberto (2007). *Flora Popular Santiagueña*. Santiago del Estero, Argentina: Ed. El Liberal.
- Stevens, P. F. (2001 onwards). *Angiosperm Phylogeny Website*. Version 14, July 2017. <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>.
- The plant list (2020). *The plant list, Version 1.1*. <http://www.the-plantlist.org>
- Thren, Mario y Zerda, Hugo Raúl (1994). Inventario Forestal de la Provincia de Santiago del Estero, Dptos. Copo y Alberdi. Santiago del Estero. CFI, UNSE, GTZ, Facultad de Ciencias Forestales, Asoc. Coop. Fasc. 120 pp.
- Togo, José; Basualdo, Mario Ángel y Urtubey, Néstor (1990). "Aprovechamiento socioeconómico de la flora autóctona

de Santiago del Estero". *Indoamerica, Serie Científica*. 3(3), pp. 5-161.

Varela, R. Omar; Rossi de Ceballos, Elba; Sidán, Myriam O. y Perera, Teresa C. (2002). "Estructura, diversidad y relaciones florísticas de un bosque chaqueño serrano de Argentina. Contribución al estudio de la flora y de la vegetación del Chaco". *XIV Candollea*. (57), pp. 239-249.



ESPECIES		HÁBITO	STATUS	SISTEMA	REF
FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO-				
Acanthaceae	<i>Justicia saltensis</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1303
	<i>Justicia squarrosa</i>	SUBA	NAT	SG	PR, 831
	<i>Justicia xylosteoides.</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 152
Achatocarpaceae	<i>Achatocarpus praecox</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 682
Amaranthaceae	<i>Allenrolfea patagonica</i>	ARBU	END	SG	PR, 744
	<i>Allenrolfea vaginata</i>	ARBU	END	G-O-R	
	<i>Alternanthera albida</i>	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 431
	<i>Alternanthera nodifera</i>	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 603
	<i>Atriplex cordubensis</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 699
	<i>Holmbergia tweedii</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 1101
Anacampserotaceae	<i>Suaeda divaricata</i>	ARBU	NAT	SA	
Anacardiaceae	<i>Grahamia bracteata</i>	ARBU	END	SA	PR, 711
	<i>Loxopterygium grisebachii</i>	ARBO	NAT	ER	PR, 1300
	<i>Schinopsis lorentzii</i>	ARBO	NAT	SG-SA	R, 042
	<i>Schinopsis marginata</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 481

	<i>Schinus areira</i>	ARBO	INT	SG	PR, 024
	<i>Schinus bumelioides</i>	ARBU	NAT	SG-SA	R, 116
	<i>Schinus fasciculata</i>	ARBU	NAT	SGSA	
	<i>Schinus johnstonii</i>	ARBU	END	SA	PR, 1026
	<i>Schinus longifolius</i> var <i>longifolius</i>	ARBU	END	SA	PR, 914
	<i>Schinus pilifera</i>	ARBU	NAT	SG	
	<i>Araujia odorata</i> (Morrenia <i>odorata</i> )	LIAN	NAT	SG-SA	PR, 833
	<i>Aspidosperma quebra- cho-blanco</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 822
	<i>Funastrum gracile</i>	LIAN	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Mandevilla angustifolia</i>	TREP	NAT	ER	PR, 1358
	<i>Vallesia glabra</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Mandevilla</i> aff. <i>pentlandiana</i>	LIAN	NAT	SA	PR, 1045
	<i>Trithrinax campestris</i>	ARBO	END	SA	
	<i>Austrobrickellia patens</i> var <i>tomentosa</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 508
	<i>Baccharis crispa</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1089
Anacardiaceae					
Apocynaceae					
Areaceae					
Asteraceae					

Asteraceae	<i>Baccharis artemisioides</i>	ARBU	END	SA	PR, 1044
	<i>Baccharis articulata</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 1095
	<i>Baccharis flabellata</i>	ARBU	END	SA	PR, 1047
	<i>Baccharis linearifolia</i> ( <i>B. rufescens</i> var. <i>rufescens</i> )	ARBU	NAT	SA	PR, 1111
	<i>Baccharis salicifolia</i> ( <i>B. salicina</i> )	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 566
	<i>Baccharis ulicina</i>	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 567
	<i>Chromolaena hirsuta</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1110
	<i>Cyclolepis genistoides</i>	ARBU	END	SG-SA	
	<i>Flourensia thurifera</i> ( <i>F. campestris</i> )	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 1080
	<i>Gochnatia palosanto</i>	ARBO	NAT	ER	PR, 1329
	<i>Hyaloseris andrade-limae</i>	ARBU	END	SG-ER	PR, 804
	<i>Idiothamnus lilloi</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 551
	<i>Lessingianthus saltensis</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 439
	<i>Mikania cordifolia</i>	LIAN	NAT	SG-SA-ER	PR, 490
	<i>Mikania guaranitica</i>	LIAN	NAT	SG-SA	PR, 729
<i>Porophyllum obscurum</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1046	

Asteraceae	<i>Senecio pinnatus</i> ( <i>S. pinnatus</i> var. <i>pinnatus</i> )	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 153
	<i>Stevia satuireifolia</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1211
	<i>Tessaria dodonaeifolia</i> ( <i>Pluchea dodoneifolia</i> )	ARBU	NAT	SG-SA	
	<i>Trixis grisebachii</i>	ARBU	NAT	SG	
Bignoniaceae	<i>Vernonanthura nudiflora</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 976
	<i>Amphilophium carolinae</i> ( <i>A. cynanchoides</i> )	LIAN	NAT	SG-SA-ER	PR, 1139
	<i>Dolichandra cynachooides</i>	LIAN	NAT	SG-SA	PR, 513
	<i>Fridericia truncata</i>	LIAN	NAT	ER	
	<i>Handroanthus impetiginosus</i>	ARBO	INT	SG	R, 040
	<i>Jacaranda mimosifolia</i>	ARBO	INT	SG	R, 079
	<i>Tabebuia nodosa</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 287
	<i>Tecoma stans</i> var. <i>stans</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	RD, 072
	<i>Tecoma tenuiflora</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 673
	<i>Myriopus rubicundus</i> ( <i>Tournefortia rubicunda</i> )	ARBU	NAT	SG	PR, 450
Cactaceae	<i>Cereus aethiops</i>	ARBU	END	O-R	PR, 1075

	ARBU	NAT	SG-SA-ER
<i>Cereus validus</i> ( <i>C. hildmannianus</i> )			
<i>Opuntia anacantha</i> var. <i>anacantha</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER
<i>Harrisia pomanensis</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER PR, 820
<i>Opuntia anacantha</i> var. <i>kiska-loro</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER
<i>Opuntia anacantha</i> var. <i>retrorsa</i>	SUBA	NAT	SG-SA
<i>Opuntia megapotamica</i>	ARBU	NAT	SA PR, 974
<i>Opuntia quimilo</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER
<i>Opuntia salmiana</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER
<i>Opuntia sulphurea</i> var. <i>pampeana</i>	SUBA	END	SG-SA
<i>Pereskia sacharosa</i>	ARBO	NAT	SG-ER
<i>Stetsonia coryne</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER
<i>Celtis pallida</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER PR, 266
<i>Celtis pallida</i> var. <i>discolor</i>	ARBU	NAT	SG PR, 1563
<i>Celtis tala</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER PR, 086
<i>Anisocapparis speciosa</i>	ARBO	NAT	SG-ER PR, 1319
Cactaceae			
Cannabaceae			
Capparidaceae			

	<i>Cappari cordis tweedjeana</i>	ARBU	NAT	SG-ER	PR, 1287
Capparidaceae	<i>Capparis atamisquea</i> ( <i>Atamisquea emarginata</i> )	ARBU	NAT	G-S-O-R	
	<i>Cynophalla retusa</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1453
	<i>Sarcotoxycum salicifolium</i> ( <i>Capparis salicifolia</i> )	ARBU	NAT	ER	PR, 1288
	<i>Jaccaratia corumbensis</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1335
Caricaceae	<i>Vasconcellea quercifolia</i>	ARBO	NAT	SG	PR, 838
	<i>Maytenus viscifolia</i>	ARBU	END	SG	PR, 938
Celastraceae	<i>Maytenus vitis-idaea</i>	ARBU	NAT	SA-ER	
	<i>Monteverdia spinosa</i>	ARBU	END	SG-SA-ER	
	<i>Plenckia integerrima</i> ( <i>Viposia integerrima</i> )	ARBU	NAT	ER	PR, 1326
	<i>Schaefferia argentinensis</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 1421
Convolvulaceae	<i>Bonamia sericea</i>	ARBU	END	SA	PR, 1073
Ephedraceae	<i>Ephedra triandra</i>	TREP	NAT	SG-SA	
Euphorbiaceae	<i>Acalypha communis</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 728
	<i>Acalypha lycioides</i>	ARBU	NAT	SG-ER	PR, 684
	<i>Cnidocolus urens</i>	ARBU	NAT	SG	RD, 059

Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus vitifolius</i> <i>var. cnicodendrum</i>	ARBU	END	ER	PR, 1306
	<i>Croton andinus</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1389
	<i>Croton bonplandianus</i>	SUBA	NAT	SG	PR, 117
	<i>Croton cordobensis</i>	ARBU	END	SA	PR, 613
	<i>Croton lachnostachyus</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	RD, 045
	<i>Ditaxis breviremea</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 600
	<i>Ditaxis catamarcensis</i>	SUBA	END	SA	PR, 1063
	<i>Jatropha excisa</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 011
	<i>Jatropha hieronymi</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 272
	<i>Jatropha macrocarpa</i>	ARBU	NAT	SG	
	<i>Ricinus communis</i>	ARBU	INT	SG-SA-ER	PR, 252
	<i>Sapium haematospermum</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 737
	<i>Anadenanthera colubrina</i> <i>var. cebil</i>	ARBO	NAT	SG	
	<i>Coursetia hassleri</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER	PR, 403
<i>Desmanthus sp</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 1010	
<i>Erythrostemon gilliesii</i> <i>var.</i> <i>gilliesii</i> ( <i>Caesalpinia gilliesii</i> )	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 1049	
Fabaceae					

Fabaceae	<i>Geoffroea decorticans</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 1356
	<i>Hoffmannsegia pumilio</i>	ARBU	END	SA	PR, 275
	<i>Indigofera kurtzii</i>	SUBA	NAT	SA	PR, 1053
	<i>Libidibia paraguariensis</i> ( <i>Caesalpinia paraguariensis</i> )	ARBO	NAT	SG-ER	
	<i>Mimosa detinens</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 583
	<i>Mimosa farinosa</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 808
	<i>Mimozyanthus carinatus</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 1027
	<i>Parkinsonia praecox</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 958
	<i>Prosopis abbreviata</i>	ARBU	END	SA	PR, 147
	<i>Prosopis alba</i>	ARBO	NAT	SG-ER	PR, 029
	<i>Prosopis alba</i> var. <i>panta</i>	ARBO	NAT	SG	PR, 030
	<i>Prosopis campestris</i>	ARBU	END	SA	PR, 915
	<i>Prosopis chilensis</i> var <i>chilensis</i>	ARBO	NAT	SG	PR, 227
	<i>Prosopis elata</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 934
<i>Prosopis hassleri</i>	ARBO	END	SA	PR, 616	
<i>Prosopis kuntzei</i>	ARBO	NAT	SA-ER		



Fabaceae	<i>Prosopis nigra</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 1021
	<i>Prosopis nigra</i> var. <i>ragonesei</i>	ARBO	END	SG	PR, 452
	<i>Prosopis reptans</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 1150
	<i>Prosopis sericantha</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 783
	<i>Prosopis torquata</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 829
	<i>Prosopis vinalillo</i>	ARBO	NAT	ER	PR, 671
	<i>Senegalia gilliesii</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Senegalia praecox</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	
	( <i>Acacia praecox</i> )	ARBO	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Senna aphylla</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 707
	<i>Senna morongii</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 705
	<i>Senna</i> sp.	ARBU		SA	PR, 1074
	<i>Senna spiniflora</i>	ARBU	END	SA	PR, 542
	<i>Sesbania virgata</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 1338
	<i>Vachellia astringens</i> ( <i>Acacia atramentaria</i> )	ARBU	NAT	SA	PR, 988
<i>Vachellia aroma</i> ( <i>Acacia aroma</i> )	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 297	

Fabaceae	<i>Vachellia caven</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 1061
	<i>Vachellia curviflora (Acacia curviflora)</i>	ARBU	END	SA	Baiegno 198 (LIL)
Malpighiaceae	<i>Zapoteca formosa</i>	ARBU	NAT	SG-ER	
	<i>Heteropterys dumetorum</i>	LIAN	NAT	G	PR, 1382
	<i>Janusia guaranitica</i>	LIAN	NAT	G-O-R	
	<i>Abutilon indicum</i>	ARBU	NAT	G	PR, 560
Malvaceae	<i>Abutilon pauciflorum</i>	SUBA	NAT	G-O	PR, 725
	<i>Ceiba chodatii</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Malvastrum coromandelianum</i>	SUBA	NAT	G-S-O	
	<i>Melochia anomala</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER	PR, 221
	<i>Melochia argentina</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 803
	<i>Pavonia argentina</i>	SUBA	NAT	SG	
	<i>Pseudabutilon virgatum</i>	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 700
	<i>Sida cordifolia</i>	SUBA	NAT	SG	PR, 154
	<i>Sida glabra</i>	SUBA	NAT	SG-SA	PR, 1458
	<i>Sida rhombifolia</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER	PR, 1463

	<i>Sida spinosa</i>	SUBA	NAT	SG	PR, 1108
	<i>Sphaeralcea bonariensis</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER	PR, 713
Malvaceae	<i>Sphaeralcea cordobensis</i>	SUBA	END	SA	PR, 571
	<i>Waltheria indica</i>	SUBA	NAT	SG	PR, 048
	<i>Wissadula densiflora</i>	SUBA	NAT	SG-SA	
Meliaceae	<i>Melia azederach</i>	ARBO	INT	SG	PR, 1420
Menispermaceae	<i>Odontocarya asarifolia</i>	LIAN	NAT	SG-ER	PR, 1309
	<i>Bougainvillea campanulata</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1281
Nyctaginaceae	<i>Bougainvillea stipitata</i>	ARBO	NAT	ER	PR, 1278
Olacaceae	<i>Ximenia americana</i> var. <i>americana</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	
Plumbaginaceae	<i>Plumbago zeylanica</i> ( <i>P. scandens</i> )	TREP	NAT	ER	PR, 1305
	<i>Coccoloba cordata</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1331
	<i>Muehlenbeckia sagittifolia</i>	LIAN	NAT	SG-SA	
Polygonaceae	<i>Ruprechtia apetala</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 290
	<i>Salta triflora</i>	ARBO	NAT	SG-ER	PR, 668
Ranunculaceae	<i>Clematis montevidensis</i> var. <i>montevidensis</i>	LIAN	NAT	SG-SA-ER	PR, 507

Rhamnaceae	<i>Condalia microphylla</i>	ARBU	END	SG-SA	PR, 812
	<i>Condalia montana</i>	ARBU	END	SA	PR, 1024
Rutaceae	<i>Sarcophalus mistol</i> ( <i>Ziziphus mistol</i> )	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 107
	<i>Zanthoxylum petiolare</i> A. St.-Hil. & Tul.	ARBO	NAT	ER	PR, 1376
Santalaceae	<i>Jodina rhombifolia</i>	ARBO	NAT	SG-SA-ER	PR, 271
Sapindaceae	<i>Serjania marginata</i>	LIAN	NAT	ER	PR, 1325
Sapotaceae	<i>Sideroxylon obtusifolium</i>	ARBO	NAT	SA-ER	PR, 545
Scrophulariaceae	<i>Buddleja mendozensis</i>	ARBU	NAT	SA-SA	PR, 811
	<i>Buddleja stachyoides</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 909
	<i>Buddleja tucumanensis</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 1464
Simaroubaceae	<i>Castela coccinea</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Capsicum chacoense</i>	SUBA	NAT	SG-ER	PR, 503
Solanaceae	<i>Cestrum parqui</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 952
	<i>Lycium boheravifolium</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 701
	<i>Lycium cestroides</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 299
	<i>Lycium ciliatum</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 158
	<i>Lycium elongatum</i>	ARBU	END	SA	PR, 298

Solanaceae	<i>Lycium infaustum</i>	ARBU	END	SA	PR, 1200
	<i>Lycium tenuispinosum</i>	ARBU	END	SG-SA	PR, 704
	<i>Nicotiana glauca</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	
	<i>Solanum argentinum</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 1080
	<i>Solanum sisymbriifolium</i>	SUBA	NAT	SG-SA	
Ulmaceae	<i>Phyllostylon rhamnoides</i>	ARBO	NAT	ER	PR, 1304
	<i>Aloysia gratissima</i>	ARBU	END	SG-SA	PR, 302
	<i>Aloysia ovatifolia</i>	ARBU	END	SA	PR, 843
	<i>Aloysia scorodonioides</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 1499
	<i>Aloysia virgata</i> var. <i>platyphylla</i> ( <i>Xeroaloyisia virgata</i> )	ARBU	END	ER	PR, 1068
Verbenaceae	<i>Junellia bisulcata</i> var. <i>campestris</i>	SUBA	END	SA	PR, 926
	<i>Junellia hookeriana</i>	SUBA	END	SG-SA	PR, 1062
	<i>Lantana camara</i>	ARBU	NAT	SG	RD, 043
	<i>Lantana grisebachii</i>	ARBU	NAT	SG	PR, 999
	<i>Lantana grisebachii</i> var. <i>grisebachii</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 1051
<i>Lantana sp</i>	SUBA		ER	PR, 1397	

Verbenaceae	<i>Lippia alba</i> var. <i>alba</i>	ARBU	NAT	SG	
	<i>Lippia aristata</i>	ARBU	NAT	ER	PR, 1282
	<i>Lippia brachyfoda</i> ( <i>L. grisebachiana</i> )	ARBU	END	SG	PR, 1413
	<i>Lippia grata</i>	SUBA	NAT	SG-ER	PR, 819
	<i>Lippia integrifolia</i>	ARBU	NAT	SA	PR, 162
	<i>Lippia junelliana</i>	ARBU	END	SG	PR, 1413
	<i>Lippia salsa</i>	ARBU	END	SG-SA-ER	PR, 1189
	<i>Lippia turbinata</i> f. <i>magnifolia</i>	ARBU	END	SG	PR, 141
	<i>Lippia turbinata</i> f. <i>turbinata</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	PR, 406
	<i>Hybanthus nanus</i>	SUBA	NAT	SG-SA	P, s-n
Zygophyllaceae	<i>Bulnesia bonariensis</i>	ARBO	NAT	SA-ER	PR, 943
	<i>Bulnesia foliosa</i>	ARBU	NAT	SA-ER	PR, 1262
	<i>Larrea cuneifolia</i>	ARBU	END	SA	PR, 574
	<i>Larrea divaricata</i>	ARBU	NAT	SG-SA	PR, 278
	<i>Portulera microphylla</i>	ARBU	NAT	SG-SA-ER	

TABLA 1. Especies leñosas nativas presentes en bosques de serranía en Santiago del Estero  
 HÁBITO: ARBO (árbol), ARBU (arbusto), LIAN (liana), SUBA (subarboustos), TREP (arbusto apoyante) –  
 SISTEMA: ER (Cerro El Remate), SG (Sierras de Guasayán), SA (Sierras de Sumampa-Ambargasta) – REF:  
 Código de Herbario

	Guasayán	Sumampa	Ojo de Agua	El Remate
Guasayán	-			
Sumampa	0,43	-		
Ojo de Agua	0,48	0,49	-	
El Remate	0,39	0,34	0,33	-

Tabla 2. Índice de Jaccard

ESPECIES		HÁBITO	STATUS	SISTEMA
FAMILIA	NOMBRE CIENTÍFICO			
Anacardiaceae	<i>Schinus molle</i>	ARBO	INT	SG
Apocynaceae	<i>Mandevilla angustifolia</i>	TREP	NAT	ER
Asteraceae	<i>Austrobrickellia patens</i>	ARBU	NAT	SG-SA
	<i>Baccharis crispa</i>	SUBA	NAT	SA
	<i>Baccharis rufescens</i> var. <i>rufescens</i>	ARBU	NAT	SA
	<i>Baccharis artemisioides</i>	ARBU	END	SA
	<i>Chromolaena hirsuta</i>	SUBA	NAT	SA
	<i>Gochnatia palosanto</i>	ARBO	NAT	ER
Cactaceae	<i>Vernonanthura nudiflora</i>	ARBU	NAT	SA
	<i>Opuntia anacantha</i> var. <i>anacantha</i>	SUBA	NAT	SG-SA-ER
Caricaceae	<i>Jacaratia corumbensis</i>	ARBU	NAT	ER

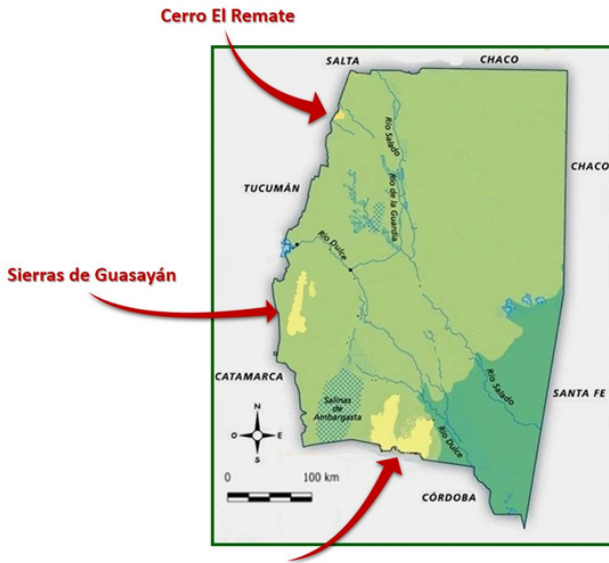


Caricaceae	<i>Vasconcellea quercifolia</i>	ARBO	NAT	SG
Celastraceae	<i>Viposia integerrima</i>	ARBU	NAT	ER
	<i>Schaefferia argentinensis</i>	ARBU	NAT	SG
Scrophulariaceae	<i>Buddleja stachyoides</i>	ARBU	NAT	SG
	<i>Cnidocolus urens</i>	ARBU	NAT	SG
Euphorbiaceae	<i>Cnidocolus vitifolius</i> var. <i>cnicodendrum</i>	ARBU	END	ER
	<i>Ditaxis catamarcensis</i>	SUBA	END	SA
Fabaceae	<i>Hoffmannsegia pumilio</i>	ARBU	END	SA
	<i>Indigofera kurtzii</i>	SUBA	NAT	SA
	<i>Prosopis campestris</i>	ARBU	END	SA
	<i>Prosopis hassleri</i>	ARBO	END	SA
	<i>Prosopis nigra</i> var. <i>ragonesei</i>	ARBO	END	SG
	<i>Senna spiniflora</i>	ARBU	END	SA
Malvaceae	<i>Vachellia curvifructa</i>	ARBU	END	SA
	<i>Sphaeralcea cordobensis</i>	SUBA	END	SA
Menispermaceae	<i>Odontocarya asarifolia</i>	LIAN	NAT	SG-ER

Plumbaginaceae	<i>Plumbago zeylanica</i>	TREP	NAT	ER
Polygonaceae	<i>Coccoloba cordata</i>	ARBU	NAT	ER
Rhamnaceae	<i>Condalia montana</i>	ARBU	END	SA
Rutaceae	<i>Zanthoxylum petiolare</i>	ARBO	NAT	ER
Ulmaceae	<i>Phyllostylon rhamnoides</i>	ARBO	NAT	ER
Violaceae	<i>Hybanthus nanus</i>	SUBA	NAT	SG-SA

Tabla 3. Nuevas citas para la flora de Santiago del Estero

HÁBITO: ARBO (árbol), ARBU (arbusto), LIAN (liana), SUBA (subarbustos), TREP (arbusto apoyante) – SIS-TEMA: ER (Cerro El Remate), SG (Sierras de Guasayán), SA (Sierras de Sumampa-Ambargasta)



**Sierras de Sumampa y Ambargasta**

Figura 1. Localización de las áreas de Chaco Serrano en Santiago del Estero.

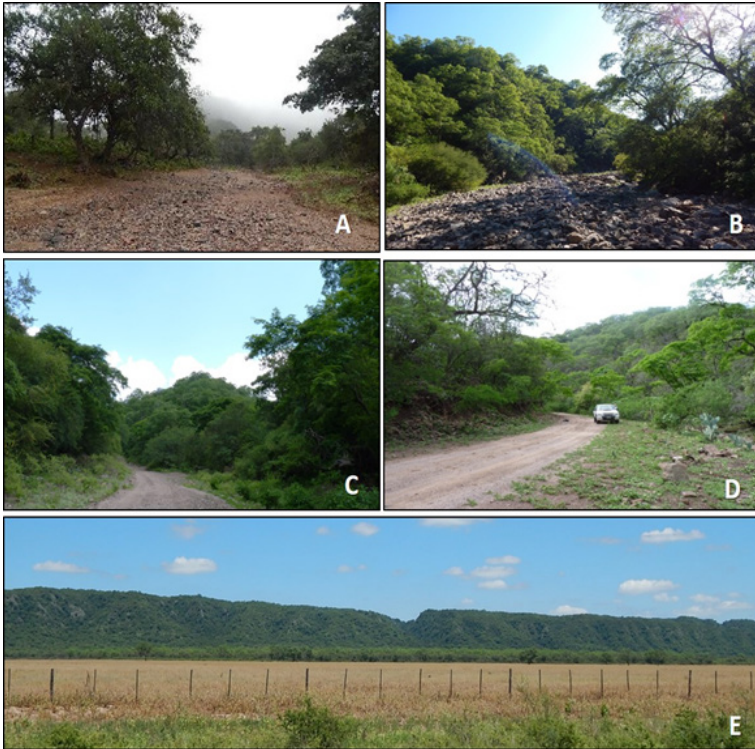


Figura 2. Vistas panorámicas de las Sierras de Guasayán.  
A y D) Quebrada de Maquijata- B) Villa la Punta -  
C) Quebrada del Ojito – E) Vista general de las sierras.



Figura 3. Vistas panorámicas de las Sierras de Sumampa y Ambargasta. A) Paraje Los Pozos; B) Sumampa Viejo; C) Cachi; D) Sumampa; E) Vista general de las sierras.



Figura 4. A) Cerro El Remate; B) Cerro Cantero.

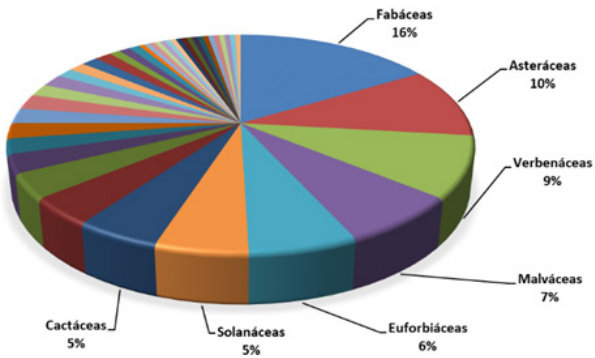


Figura 5. Familias que incluyen el 60% de la diversidad de leñosas.

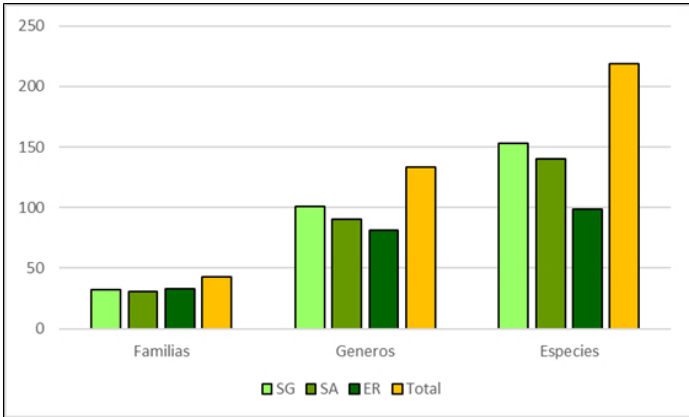


Figura 6. Familias, géneros y especies registrados en cada uno de los sistemas serranos de Santiago del Estero. (SG: Sierras de Guasayán; SA: Sierras de Sumampa y Ambargasta; ER: Cerro El Remate).

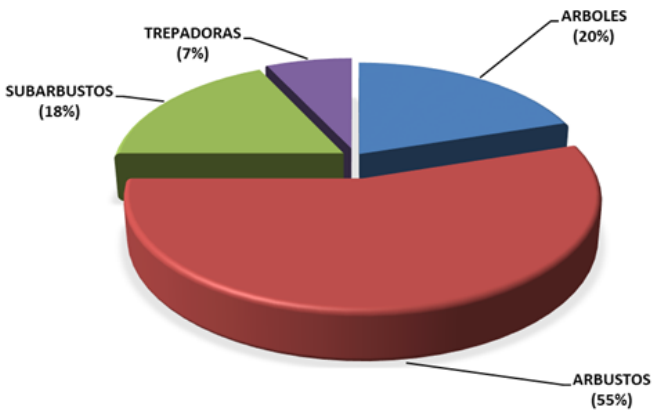


Figura 7. Formas de vida de leñosas en bosques serranos de Santiago del Estero.





Figura 8. Especies endémicas de Argentina presentes en la flora de los bosques serranos de Santiago del Estero: A) *Larrea cuneifolia*; B) *Bonamia sericea* var *sericea* ; C) *Lycium infaustum*; D) *Cyclolepis genistoides*; E) *Opuntia megapotamica* ; F) *Grahamia bracteata*; G) *Hoffmansegia pumilio*; H) *Trithrinax campestris*; I) *Cereus aethiops*.





Figura 9. *Hyaloseris andrade-limae*: especie endémica que crece exclusivamente en bosques serranos de Santiago del Estero.

# RELACIÓN ENTRE INFRAESTRUCTURA VERDE URBANA Y TEMPERATURAS. EL CASO DE DOS SECTORES DE LA CIUDAD CAPITAL DE SANTIAGO DEL ESTERO, ARGENTINA

MARÍA FLORENCIA SPECIALE<sup>1</sup>; HUGO RAÚL ZERDA<sup>2</sup>

## Resumen

Se muestra el desarrollo del monitoreo de la ciudad Capital de Santiago del Estero en Argentina, en lo referente a la relación entre la vegetación y el servicio ambiental de atenuación de la temperatura en ambientes urbanos. Los casos de estudio en la ciudad son sectores constituidos por barrios desde el comienzo, en el que eran bosques periurbanos o parcialmente habitados, hasta la finalización de su construcción. Mediante el uso de imágenes satelitales Landsat 5 y 8, de sus productos derivados de temperaturas de superficie LST y de diversos índices de vegetación y construcciones, se encontraron correlaciones negativas entre vegetación y temperatura, mientras que

1 Licenciada en Ecología y Conservación del Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales, INPROVE, SIGL@b (UNSE).

2 Director del proyecto. Doctor en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales, INPROVE, SIGL@b (UNSE).

entre construcciones y temperaturas fueron positivas. En las fechas de verano analizadas, la presencia de mayor cobertura vegetal disminuye los valores de temperatura sobre las áreas urbanizadas, lo cual fue claramente determinado mediante las variables utilizadas.

Palabras clave: urbano, monitoreo, índices de vegetación, temperatura, Landsat

### **Abstract**

The monitoring of the city Capital of Santiago del Estero in Argentina is presented , in relation to the vegetation and the environmental service of temperature mitigation in urban environments. The case studies in the city are sectors that are newly inhabited or partially covered by peri-urban forests or partially inhabited, until the completion of their construction. Through the use of satellite images Landsat 5 and 8, and their derived LST surface temperatures and various indices of vegetation and buildings, positive correlations were found between vegetation and temperatura, while between constructions and temperatures were positive. In the summer dates analyzed, the presence of greater vegetation cover decreased the temperature values over the urbanized areas, which was clearly determined by the used variables.

Keywords: urban, monitoring, vegetation indexes, temperature, Landsat

## Introducción

En los contextos actuales de globalización, la urbanización es un factor importante para el desarrollo de la misma (Goldblatt *et al.*, 2018). Desde el año 2008, y por primera vez en la historia, el 54% de la población mundial pasó a ser predominantemente urbana, y se estima que para el año 2030 sea del 60% (Naciones Unidas, 2014). A partir de esta idea, el territorio debe ser estudiado no solamente en términos de estructura y forma, sino que se debe incorporar el análisis de su uso (Baigorri, 2002). En un sentido amplio, se puede definir a la urbanización como el proceso a través del cual se produce un cambio irreversible en el uso de suelo (Pathan *et al.* 1989), o bien a través del incremento de población por la migración desde zonas rurales conformando lo que serán las nuevas "áreas urbanas" (Mc Granahan y Satterwhite, 2014).

Es decir, zonas de bosques, cultivos, cuerpos de agua y pasturas naturales son transformadas a nuevos espacios de usos con fines sociales, económicos y de recreación (Di Pace *et al.*, 2012), lo que presupone cambios en los flujos de materia, energía y uso de recursos para proveer a los futuros habitantes.

En Argentina, el 80% de la población reside en ciudades y la mayoría de estas fueron producto de marcados procesos de industrialización durante el siglo XX y, por ende, con escasa o nula planificación sobre el uso del suelo (PNUMA, 2007). A nivel local, la ciudad de Santiago del Estero se encuentra sumida en un proceso de expansión urbana que comenzó aproximadamente hace una década atrás y se caracteriza por un crecimiento espontáneo y desordenado, conducido fuertemente por la intervención estatal, que concentra sus esfuerzos en dar solución al problema habitacional producto del crecimiento poblacional (Colucci *et al.*, 2012).

Landsberg (1981) destacó las marcadas variaciones en el microclima de las ciudades en comparación con su ambiente

circundante, las que actualmente se definen como islas de calor urbanas (UHI, *urban heat island*) (Cirigliano, 2017). Este fenómeno puede producirse tanto de día como de noche, provocando un aumento de temperatura que puede alcanzar los 10 °C en relación con el ambiente que rodea a las ciudades. Se distinguen dos tipos de UHI: la superficial (UHIS) y la atmosférica (UHIA) (Tumini, 2010). La UHIA representa las diferencias en la temperatura del aire entre las zonas urbanas y las rurales; en cambio, la UHIS indica la diferencia térmica entre las distintas coberturas superficiales (pavimento, aceras, tejados de los edificios, etc.) y naturales (vegetación, cultivos, parques, etc.) (García y Martilli, 2012).

A los efectos de este trabajo se abordará el efecto de la variación de la temperatura superficial del suelo (LST), fenómeno que da forma a las UHIS, en función de las coberturas presentes dentro de las ciudades. Además, la LST es considerada un indicador del ambiente urbano, ya que muestra las relaciones con las coberturas de suelo presentes en el área (Yue *et al.*, 2007).

La infraestructura verde urbana es otro componente de gran importancia en los ecosistemas urbanos y comprende a los bosques urbanos, el arbolado, parques, plazas, plazoletas, sendas peatonales, techos y terrazas verdes, bosques de ribera, humedales, reservas urbanas de la biosfera y huertas urbanas, entre otros espacios (Landscape Institute, 2009). En este nuevo paradigma donde los espacios verdes urbanos son concebidos como formaciones naturales o elementos diseñados por el hombre donde predomina lo natural, se hace énfasis en la provisión y el aporte de los servicios ecosistémicos dentro de las ciudades, como estrategia de lucha contra el cambio climático (Hamin y Gurrán, 2009). Esta visión, a su vez, dista de la perspectiva clásica del planeamiento y diseño urbano, donde los espacios verdes son disminuidos a meros elementos estéticos y sociales de ellas (Santiago-Ramos, 2008; Thompson, 2002).

La presencia de vegetación en áreas urbanas está fuerte-

mente influenciada por la energía utilizada y demandada por las mismas para el enfriamiento de edificaciones en el verano y por el desarrollo de las islas de calor (Huang *et al.*, 1987). Por el contrario, la sustitución de la masa vegetal puede tener consecuencias negativas en los factores antes mencionados, así como en el intercambio de calor y humedad entre la superficie y la atmósfera (Stohlgren *et al.*, 1998).

En la ciudad Capital de Santiago del Estero existen antecedentes sobre evaluación de la infraestructura verde con base en fotografías aéreas y relevamientos terrestres (Moreira y Zerda 1993; Zerda y Sosa, 2011), también mediante imágenes satelitales multiespectrales, índices de vegetación e indicadores ambientales derivados de análisis espacial (Moreira, 1998; Moreira y Zerda ,1999; Moreira y Zerda, 2000), así como también en referencia a la temperatura derivada de datos satelitales (Del Corro y Zerda, 2014). Por ello, estas publicaciones fueron una base para el reconocimiento de patrones de la cobertura urbana y de cambios en la ciudad, y para el desarrollo del estudio en sectores con características especiales, como los presentados en este trabajo. Sin embargo, esta propuesta presenta un enfoque sin precedentes ya que aborda el tema de la vegetación urbana, como servicio local y en relación directa con el crecimiento y la transformación de la ciudad.

### **Objetivo general**

Determinar la relación entre la infraestructura verde urbana y la temperatura superficial en dos sectores construidos de la ciudad Capital de Santiago del Estero durante el período 2009-2019.

## Objetivos específicos

- Evaluar las variaciones de temperaturas, a partir de las bandas térmicas de los sensores satelitales OLI de Landsat 8 y TM de Landsat 5.
- Determinar las características y estructura de la infraestructura verde a partir de índices de vegetación y análisis de las bandas espectrales de los mismos satélites.
- Generar modelos cartográficos y estadísticos de las relaciones observadas entre las variables infraestructura verde y temperatura.

## Materiales y métodos

### *Área de estudio*

La Ciudad de Santiago del Estero es la ciudad cabecera del departamento Capital de la provincia de Santiago del Estero, se ubica en la región Chaco Seco, originalmente con predominio de formaciones vegetales xerófilas (Burkart *et al.*, 1999) y que aún ocupan algunos sectores hacia los bordes. La superficie total del ejido municipal es de 9.433 ha, de las cuales 4.000 ha están ocupadas por los barrios construidos (Municipalidad de Santiago del Estero, 2021) y tiene una población total de 267.125 habitantes (INDEC, 2010); por esto, es la jurisdicción más densamente poblada de la provincia (Figura 1).

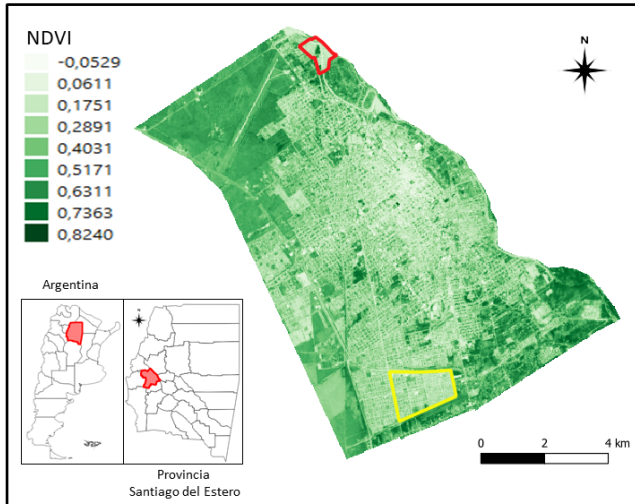


Figura 1. Ubicación del área de estudio: en rojo: Barrio Altos del Golf; en amarillo: Conglomerado Contreras. Mapa de Índice de Vegetación de Diferencia Normalizado (NDVI) del verano 2019.

### *Unidades de estudio*

#### *Conglomerado Contreras*

Ubicado en el sur de la ciudad, el Conglomerado Campo Contreras es un conjunto habitacional construido en fases, a partir de fondos conjuntos entre Nación y Provincia y lleva su nombre en honor al ingenio azucarero que se emplazaba en ese terreno hacia el año 1876. Las fases o etapas de construcción dieron forma a lo que hoy conocemos como Barrios Saint Germés, Siglo XIX, Siglo XX y Siglo XXI (de este a oeste respectivamente). Si bien el conglomerado se compone de estos cuatro barrios, solo se seleccionaron para este estudio los tres primeros anteriormente nombrados. Se compone de viviendas unifamiliares, en lotes de aproximadamente 10 m x 30 m.



Además, cuenta con instalaciones educativas, hipermercado y diversos espacios verdes, de los que el mayor es el conocido como “Las Cuatro Plazas”.



Figura 2. Detalle del Conglomerado Contreras (Barrios: Saint Germés, Siglo XIX y XX).

### *Barrio Lomas del Golf*

Se ubica sobre el margen derecho del Río Dulce, en zona de las barrancas más altas sobre la ciudad. Su construcción comenzó en el año 2013 sobre 62 ha, consta de viviendas unifamiliares en lotes de 10 m x 30 m, en proximidad de importantes obras de infraestructura vial e hídrica (canal de distribución para riego) que lo atraviesan de norte a sur por uno de los ingresos a la ciudad. Una particularidad de la zona es que estuvo ocupada previamente a la construcción del barrio por un bosque nativo de ribera, dominado por algarrobos (*Prosopis alba*), del cual existe actualmente un bosque residual en el centro del barrio;

allí vive una comunidad indígena en un proyecto urbano adaptado a sus costumbres y con un diseño propio (Figura 3).



Figura 3. Polígono en detalle del Barrio Lomas del Golf.

## Metodología

La utilización de sensores remotos para la observación de recursos terrestres y la gestión del territorio proporcionan información de interés a distancia y bajo costo (Zerda, 2005). La teledetección, o percepción remota, es la ciencia que permite la observación y/o adquisición de imágenes correspondientes a objetos o fenómenos terrestres, sin tener contacto directo con él (Chuvieco, 1996).

A su vez, los SIG (sistemas de información geográfica) aportan herramientas para modelar, manipular y visualizar variables y datos del mundo real en un espacio geográfico definido (Bu-

rrough, 1986). En este trabajo se utilizó el *software* QGIS 3.10, libre y de código abierto, de gran difusión en los últimos años y notable competidor de otros SIG de costosas licencias.

### Selección de imágenes

Del banco de datos del Servicio Geológico de los EE.UU. (USGS, 2020) se eligieron las imágenes de los satélites Landsat 5 y Landsat 8 por las siguientes razones: i) la disponibilidad de las bandas termales y multiespectrales rojo/infrarrojos para los índices de vegetación y de edificación a utilizar; ii) la cobertura del período con los cambios que se deseaban estudiar; iii) la mayor homogeneidad y iv) la gratuidad de los productos. No obstante, las bandas termales muestran diferente resolución espacial (Tabla 1), se distribuyen remuestreadas a píxeles de 30 metros como las otras bandas espectrales, para homogeneizar las imágenes.

La selección de imágenes y su posterior obtención se realizó en un periodo de diez años, desde 2009 a 2019. Para cada año se obtuvieron imágenes satelitales de dos fechas correspondientes a los periodos estivales (diciembre a marzo) e invernales (junio a agosto) (Tabla 2).

Bandas	Landsat 5 TM Longitud de onda (µm)	Resolución espacial	Landsat 8 OLI Longitud de onda (µm)	Resolución espacial
Coastal	----	---	0.43 - 0.45	30
Azul	0.450–0.520	30	0.450–0.510	30
Verde	0.520–0.600	30	0.530–0.590	30
Rojo	0.630–0.690	30	0.640–0.670	30
NIR	0.760–0.900	30	0.850–0.880	30
SWIR 1	1.550–1.750	30	1.570–1.650	30

SWIR 2	2.080–2.350	30	2.110–2.290	30
Termal (1)	10.4 - 12.5	120	10.60 - 11.19	100
Termal (2)	---	---	11.50 - 12.51	100
Pancromático	---	---	0.50 - 0.68	15

SWIR: infrarrojo de onda corta (1 y 2)

Tabla 1. Característica de las imágenes disponibles

Imagen	Fecha de toma	Satélite	Resolución radiométrica (bits)
1	06/01/2009	Landsat 5	8
2	01/07/2009	Landsat 5	8
3	02/01/2019	Landsat 8	16
4	27/06/2019	Landsat 8	16

Tabla 2. Imágenes seleccionadas

### Diagrama metodológico

Una vez realizada la descarga de imágenes, se llevaron a cabo los cálculos para la obtención de la LST y diversos índices como NDVI, SAVI, NDBI y EVI, que se detallan más adelante.

A través del complemento *Semi automatic classification* SPC de código abierto (Congedo, 2016), se procedió a calibrar radiométricamente las imágenes y a obtener, a partir de los niveles digitales (ND) originales, los parámetros físicos como radiancia, reflectancia y temperatura de brillo, para el cálculo de índices de vegetación y otros, como también de la LST (Chuvieco, 1996)

Posteriormente a la obtención de las variables para cada fecha, se estudiaron los cambios de cobertura, centrándose en la presencia de infraestructura verde y otras categorías definidas mediante el *software* en línea i-Tree Canopy, con el cual se colectaron los puntos de muestreo de las clases de coberturas

2019 para utilizarlos en la fecha 2009 extraída de una imagen de ese año colectada de Google Earth. La variación de temperatura en la década 2009-2019 se realizó mediante álgebra de mapas con QGIS, mientras que el estudio de correlación y regresión se realizó con el procedimiento Scatterplot de SAGA GIS (Figura 4).

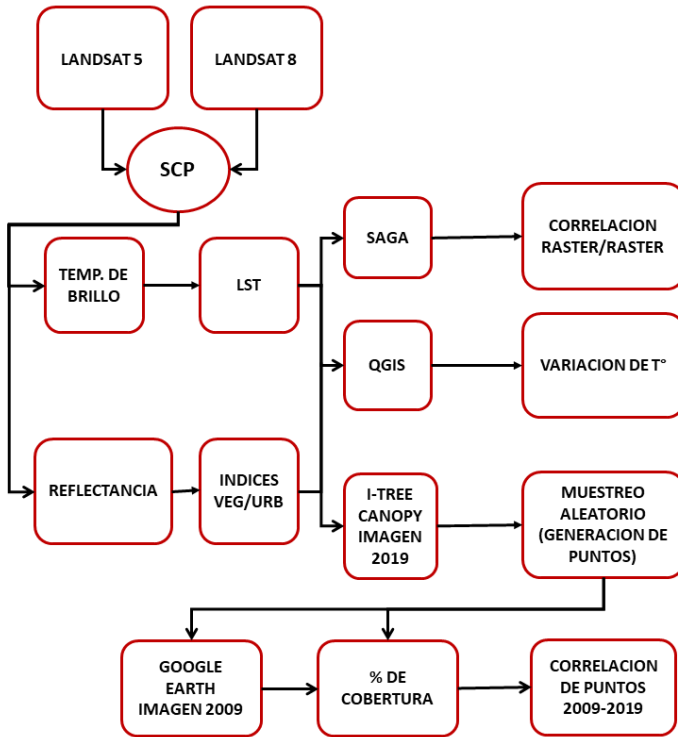


Figura 4. Diagrama metodológico.

### *Reflectancia y temperatura de brillo*

El complemento *Semi automatic classification* (SCP) que se integra al software QGIS permite el cálculo automático de la reflectancia y LST. Dentro del espectro electromagnético se encuentra la información de donde se adquirirán los valores de reflectancia y que corresponden a las regiones del espectro visible, infrarrojo cercano e infrarrojo medio. Para obtener el parámetro LST se transforman los valores del espectro que corresponden al infrarrojo térmico.

Otra cuestión importante es considerar que la energía electromagnética (EEM) fluye desde el sol atravesando la atmósfera y que alcanza la superficie terrestre interactuando con las diferentes coberturas de la corteza terrestre desde donde es captada por el sensor.

Parte de la energía de la región del infrarrojo es absorbida y emitida por los objetos, mientras otras longitudes de onda son reflejadas; posteriormente ambas vuelven al exterior y son captadas por el sensor, luego registradas para finalmente ser procesadas y permitir formar imágenes. Durante la trayectoria que recorre la EEM, la misma debe pasar por una gran parte de la atmósfera, interactuando con sus diferentes componentes, entre ellos los gases atmosféricos, nubes y partículas en suspensión, pudiendo interferir en el cálculo y ocasionar errores en los valores de reflectancia (Chander y Markham, 2003).

Tanto para los valores de reflectancia como los de LST, necesariamente se debe iniciar el cálculo transformando los ND a radiancias y, a partir de estos, a reflectancias (Chuvieco, 1996). Se define a la reflectancia como la relación entre la energía que incide sobre la superficie y la reflejada por la misma (Gago *et al.*, 2018). Este valor es propio de cada cobertura y permite obtener los valores de reflectancia superficial, al aplicar sobre ella diversas correcciones que eliminan las perturbaciones atmosféricas (Chander y Markham, 2003).

En cuanto a la obtención de la LST, esta resulta de calcular la temperatura de brillo a partir de la inversión de la ecuación de Planck (Congedo, 2016), que sumado al valor de la emisividad de cada cobertura permite obtener el parámetro LST en °C (Weng *et al.*, 2004).

### *Índices espectrales*

Una de las aplicaciones más utilizadas en la teledetección y los SIG es la obtención de índices espectrales a partir de los valores de reflectancias captados por los sensores remotos satelitales multiespectrales (Li *et al.*, 2000; Heldens *et al.*, 2011). Para este trabajo se seleccionaron tres índices de vegetación (NDVI, SAVI y EVI)<sup>3</sup> y un índice de edificación (NDBI)<sup>4</sup>. Los índices de vegetación permiten evaluar el vigor vegetal, el estado fisiológico, la densidad de la vegetación, por mencionar algunas características.

#### A. Índice de vegetación diferencial normalizado (NDVI)

Combina las bandas del rojo e infrarrojo cercano debido a la característica de la vegetación de poder reflejar más intensamente en el infrarrojo. Se puede evaluar el vigor vegetal, estado fisiológico y la densidad, lo que se representa con valores cercanos a 1 cuando la densidad de la vegetación y el estado fenológico es óptimo. Contrariamente, a medida que los valores de NDVI descienden, se representa vegetación en mal

3 NDVI: Índice de vegetación diferencial normalizada. SAVI: Índice de vegetación ajustada al suelo. EVI: Índice de vegetación mejorado

4 NDBI: Índice de diferencia normalizado edificado

estado o baja densidad vegetal, valores cercanos a cero representan suelo desnudo y valores próximos a -1 se asocian con la nieve o el agua (Chuvienco, 1996). Desarrollado por Rouse et al. (1973), el NDVI se obtiene a partir de:

$$\text{NDVI} = (\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R})$$

donde:

IRC= Banda del infrarrojo cercano. Corresponde a la banda 4 para Landsat 5, banda 5 para Landsat 8.

R= Banda roja. Corresponde a la banda 3 para Landsat 5, banda 4 para Landsat 8.

#### B. Índice de vegetación ajustado al suelo (SAVI)

Este índice es una variante corregida del NDVI donde se incluye como variable al suelo, debido a que es un componente predominante en ambientes semiáridos e introduce una perturbación en el cálculo y, por ello, en su fiabilidad (Chuvienco, 1996). Por este motivo, el SAVI se encuentra adaptado para ser utilizado en zonas áridas y semiáridas, con lo cual permite distinguir mejor entre suelo y vegetación (Gómez Vicario, 2014). A partir del factor de corrección adicionado por Huete (1987), el SAVI se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{SAVI} = [(\text{IRC} - \text{R}) / (\text{IRC} + \text{R} + \text{L})] * (1 + \text{L})$$

donde:

L = constante en satélite Landsat para ajustar la línea vegetación-suelo con valor 0,5 (Huete et al., 1994). Sobre suelos con alta densidad de vegetación L = 0 y en los de baja densidad el factor L puede llegar a 0.9. La media es 0,5 y se ajusta mejor para la cobertura de interés (CONAE, 2016; Manrique, 1999).



### C. Índice de diferencia normalizado edificado (NDBI)

El NDBI permite determinar zonas con superficie más densamente edificadas de aquellas que no lo son (Chen *et al.*, 2006 y Zha *et al.*, 2003). Al igual que los IV, sus valores se encuentran entre [-1, 1]: las zonas con mayor edificación tienden a 1 y aquellos valores próximos a -1 corresponden a zonas con menor edificación, suelo desnudo y/o mayor cubiertas vegetales (Chen *et al.*, 2006).

El NDBI se obtiene producto de la combinación entre las siguientes bandas:

$$\text{NDBI} = (\text{IRM} - \text{IRC}) / (\text{IRM} + \text{IRC})$$

donde:

IRM = Infrarrojo medio. Para Landsat 5, corresponde a la banda 5. Para Landsat 8 corresponde a la banda 6.

### D. Índice de vegetación mejorado (EVI)

Este índice propone realzar los píxeles que reflejan a la vegetación, así como disminuir los efectos de la reflectancia del suelo y de la atmósfera (Huete *et al.*, 2002; Van Leeuwen *et al.*, 1999; Vermote *et al.*, 2002). Para esto, adiciona en su cálculo las bandas en el azul, además del rojo e infrarrojo cercano, para así extraer los valores del verdor de la cubierta vegetal, independientemente de las variación del suelo y de los aerosoles atmosféricos (Francois, 2011). Se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{EVI} = G [(\text{IRC}-\text{R}) / (\text{IRC} + \text{C1}*\text{R} - \text{C2}*\text{B} + \text{L})]$$

donde:

G = 2,5 = Factor de ganancia

B = Banda Azul. Para Landsat 5 corresponde a la banda 1 y para Landsat 8 corresponde a la banda 2.

C1= 6 y C2 = 7,5 = Factores de corrección atmosféricos obtenidos del canal azul y sirven para realzar los efectos del rojo.

### *Muestreo y estimación de coberturas suelo*

Se utilizó la plataforma en línea i-Tree Canopy (2020) para estimar clases de coberturas suelo a través del muestreo aleatorio mediante puntos y por interpretación visual en base a las imágenes satelitales de alta resolución de Google (Figura 5). Para este caso se fijó un error admisible  $\leq 2,5\%$ . Los puntos de muestreo georeferenciados y que contienen la información de las clases correspondientes son posteriormente exportados para su uso en Google Earth y QGIS. Las clasificaciones de las coberturas se realizan con base en la interpretación visual de la imagen satelital correspondientes al año 2019 para los dos sectores, en las categorías propuestas por i-Tree e indicadas en la Tabla 3. Los tamaños de las muestras resultantes con este error fueron, para los sectores Conglomerado Contreras y Lomas del Golf, de 280 y 312 puntos, respectivamente.



Figura 5. Interfaz de I-tree, vista del Barrio Lomas del Golf. Las tablas y gráficos muestran las estadísticas de las coberturas.

Para la clasificación temporal de las coberturas de los años 2009 y 2014, se utilizaron los mismos puntos de muestreo exportados en formato KMZ para ser utilizados en la plataforma multitemporal de Google Earth Pro, donde también se clasificaron los puntos mediante interpretación visual en los años y fechas más cercanas a las imágenes satelitales correspondientes. Mediante la herramienta *Point Sampling Tool* de QGIS, se capturaron las estadísticas obtenidas de los productos de las imágenes satelitales, o sea, de las temperaturas LST y los índices, para los posteriores análisis estadísticos.

Tipo de cobertura	Descripción
Árbol/Arbusto	Todo tipo de especies leñosas.
Hierba/ Herbácea	Pastos y formaciones vegetales herbáceas.
Camino Impermeable	Calles, veredas, cordón cuneta, garajes particulares sin techado, playas de estacionamiento, sendas y caminos peatonales de cemento u otro material impermeable.
Edificio Impermeable	Casas, edificios, galpones, quinchos, supermercados, escuelas.
Impermeable Otro	Canchas de básquet, tenis, bordes de piletas, tanques de agua, cercas, alambrados, pequeños depósitos o viveros, obras en construcción y abandonadas, tapias y medianeras.
Agua	Agua de piletas, agua de canal de riego.
Suelo Desnudo	Suelo sin capa herbácea ni arbórea o arbustiva, sin construcción, sin pavimento ni agua.

Tabla 4. Categorías de coberturas

## Resultados

### *Dinámica temporal de las coberturas de suelo*

Como se indicó, se realizaron diversos análisis estadísticos, buscando reflejar los cambios de uso de suelo, la correlación entre las distintas coberturas y la LST, sobre la variación de temperaturas en el periodo 2009-2019.

### *Dinámica temporal de las coberturas del suelo en el Conglomerado Contreras*

En la categoría "Árbol/Arbusto", menos del 10% de los puntos muestreados correspondía a formaciones arbóreas en el año 2009, las que disminuyen hacia el año 2014 cuando el sector no estaba totalmente habitado, y vuelven a aumentar levemente hacia el año 2019, con el total de las unidades habitacionales ocupadas. La categoría "Camino Impermeable" observa un crecimiento sostenido producto principalmente de la pavimentación de calles, construcción de veredas, garages y sendas peatonales en las plazas. La categoría "Edificio Impermeable" también muestra un crecimiento sostenido con un incremento aproximado del 10% entre cada periodo analizado. La clase "Hierba/Herbácea", en el año 2009, estuvo representada por vegetación espontánea en áreas sin construcciones, y disminuye en el 2014 por el avance de las construcciones, mientras que en el 2019 hay un aumento representado ya por la presencia de jardines y plazas en terrenos baldíos o desocupados. La categoría "Impermeable otro" presenta una variación relacionada a las etapas de construcción y ocupación. Durante los diferentes periodos se asocian estas coberturas a la ejecución de obra para el año 2009, como ser la instalación de obradores y la construcción de las edificaciones; para los

períodos subsiguientes siguen otras construcciones. La clase "Suelo Desnudo" evidencia un decrecimiento sostenido conforme corren los años, debido a que el alto porcentaje de suelo descubierto hacia el año 2009 fue impermeabilizado por las diversas construcciones antes indicadas.

### *Dinámica temporal de las coberturas del suelo en el Barrio Lomas del Golf*

Hacia el año 2009, categoría "Árbol/Arbusto" representaba el 50% de los puntos muestreados, ya que, por aquel entonces, mantenía la cobertura de bosque de ribera original del lugar. Para el verano del año 2014 decrece por el inicio del proyecto de urbanización, del que se registra solo 15% de cobertura con una disminución hasta un 12% hacia el año 2019, que corresponde al sector central del barrio con el bosque de ribera residual. La categoría "Camino Impermeable" no superaba el 1% hasta el año 2014 y hasta el 2019 se incrementó al 29%. La clase "Edificio Impermeable" muestra una evolución similar a la anterior, ya que hasta el año 2014 solo contaba con unas pocas viviendas pertenecientes a quienes habitaban la zona del antiguo bosque de ribera. Hacia el periodo 2019 esta cobertura representaba casi el 25% de los puntos muestreados del barrio. En la categoría "Hierba/Herbácea" se observa una disminución de la cobertura hacia el periodo 2014, correspondiente a la etapa de ejecución de las obras edilicias, el que vuelve a incrementarse hacia el periodo 2019, principalmente por la incorporación de vegetación en los jardines de las casas, reverdecimiento de terrenos sin ocupación y bordes del canal. La clase "Impermeable Otro" presentaba apenas el 1,5% hasta el verano del año 2014 y aumenta hasta el 8% de su cobertura para el invierno del mismo año por el inicio de la construcción de las viviendas. Disminuyó levemente hacia el inicio del año 2019

y volvió a incrementar hacia el invierno, en algunas ocasiones por ocupaciones esporádicas de materiales y otras construcciones. La categoría "Suelo Desnudo" ocupaba el mayor porcentaje de cobertura hasta el verano del año 2014 debido a la deforestación para la expansión urbana, la que comienza a disminuir a partir del invierno del mismo año, debido a las construcciones impermeables, tanto edificios como caminos y otros. El porcentaje de la categoría "Agua" es mínimo, y se debe a la presencia del canal San Martín, parte de la infraestructura de riego provincial, y alcanza un máximo del 2% que disminuye al 0% cuando no hay agua.

#### *Análisis Raster vs. Raster*

El análisis de correlación global realizado con SAGA GIS 2.3.2 para cada uno de los sectores comprendidos en este estudio se presenta en los gráficos de dispersión de las variables Índices vs LST y el grado de ajuste lineal de las mismas mediante el coeficiente de determinación  $r^2$ , acompañados por el mapa del índice que corresponde. Debido a la extensión límite para este capítulo, se presentarán únicamente los casos correspondientes a las temporadas de verano de los periodos 2009 y 2019, año inicial y final del estudio.

#### *Análisis global de regresión lineal para el sector Conglomerado Contreras – Temporada de verano*

De acuerdo con lo observado en las imágenes y las gráficas con los coeficientes de determinación, para el año 2009 se evidencia que la matriz de vegetación nativa aún permanecía en pie antes del comienzo de la urbanización; esto genera un ajuste de la recta, que se puede caracterizar como moderado

para los IV. De igual manera, se observa un ajuste similar para los valores de NDBI, momento en que el proceso de edificación ya había comenzado. En año 2019, los coeficientes de determinación muestran muy baja asociación entre las variables, aunque igualmente la LST tiende al descenso a medida que los IV aumentan. Para el NDBI se observa un comportamiento esperado, aunque en una relación muy débil, lo cual pudo deberse al aporte de la heterogeneidad del terreno registrada en los píxeles de 30 metros de Landsat (óptico) y especialmente de las bandas termales de 100 m y 120 m de Landsat 8 y Landsat 5, respectivamente, lo que influye en la disminución de la LST (Figuras 6 y 7).

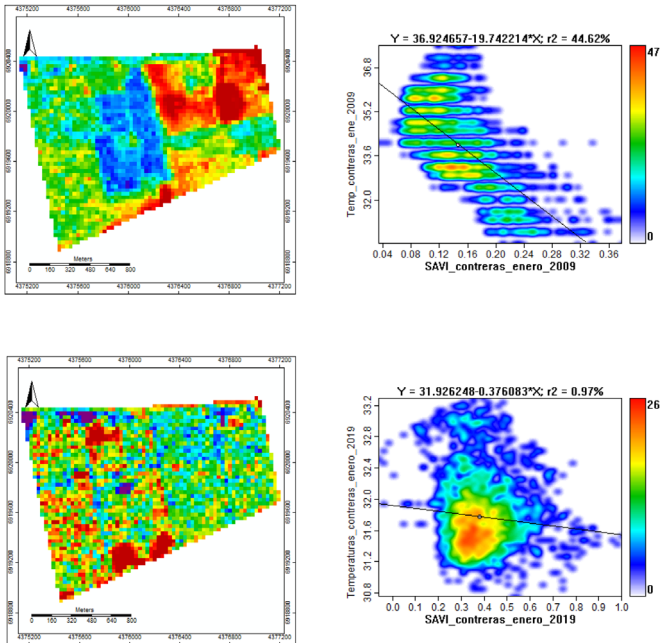


Figura 6. Período de estudio del Conglomerado Contreras, relación LST/SAVI

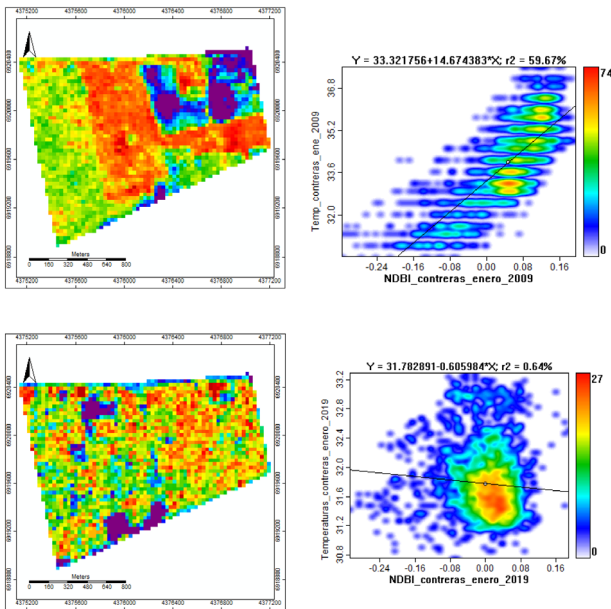


Figura 7. Período de estudio del Conglomerado Contreras, relación LST/NDBI.

*Análisis global de regresión lineal para el sector Lomas del Golf. Temporada de verano*

En el Barrio Lomas del Golf se observan asociaciones de las variables bajas a moderadas, que indican que, a medida que los IV aumentan en su valor, disminuye la LST. Para el caso del NDBI, la relación aumenta debido a la baja densidad de edificación, que para ese momento era aislada, en su mayoría precaria y no representa mayor variabilidad.

Este sector registra valores de IV globales similares para el periodo 2009 con el Conglomerado Contreras, principalmente porque ambos contenían vegetación arbórea residual. Esta



formación vegetal típica sería lo que se define como bosque periurbano, en este caso de ribera de río, con copas que generen zonas frescas y marcadas diferencias térmicas con el ambiente circundante (Figuras 8 y 9). En el año 2019, los coeficientes continúan mostrando un ajuste moderado con una tendencia a la disminución de temperatura a medida que los IV registran valores más altos. Por otro lado, comienza el proceso de creación de jardines con cobertura vegetal en buen estado, los que aparecen en forma de “pulmón de manzana”, aunque aún con ausencia de copas por el escaso tiempo de ocupación.

Finalmente, por el aporte de las islas de bosque residual a la infraestructura verde urbana, hacia el año 2019 se incrementan los valores de IV en contraste al Conglomerado Contreras .

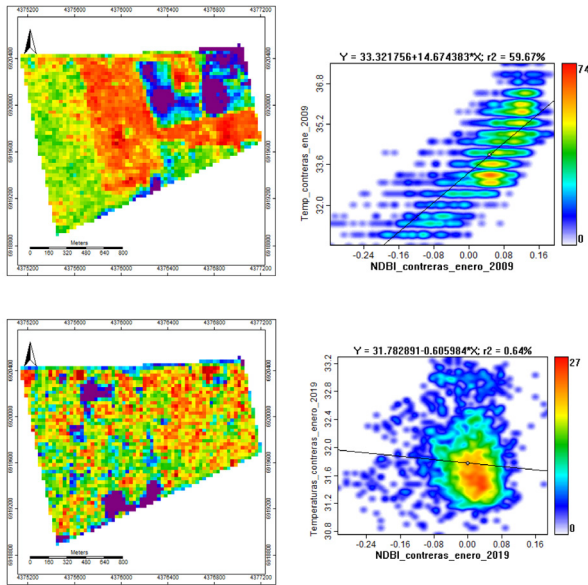


Figura 8. Período de estudio del Sector Lomas del Golf, relación LST/SAVI 2009-2019.

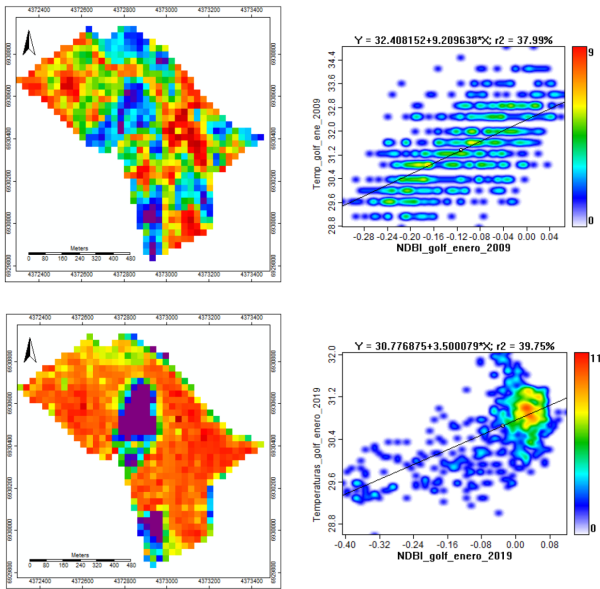


Figura 9. Período de estudio del Sector Lomas del Golf, relación LST/NDBI 2009-2019.

*Variación de temperaturas, análisis espacio-temporal del periodo 2009-2019*

Por diferencia algebraica píxel a píxel de las capas de temperaturas LST, para el lapso 2019-2009, se obtuvieron los mapas de diferencia: píxeles con valores negativos, positivos y sin diferencia indican, respectivamente, disminución, incremento y estabilidad de las temperaturas. Se advierte que en la extensión del terreno existe una distribución desigual de temperatura en función de las coberturas presentes y el cambio de uso de suelo.

En el Conglomerado Campo Contreras se registra una diferencia de hasta 6 °C menos en comparación con el año 2009

en los tramos que disponen de algún espacio verde o presencia de vegetación, sin referencias de las temperaturas del día. Lo importante es discernir que los sectores más frescos fueron aquellos con vegetación nativa residual y predomina la influencia de las bajas temperaturas en concordancia con aquellos sectores con continuidad de áreas vegetadas, sean pulmones de manzana, plazas, veredas verdes continuas, terrenos baldíos, etc.; gracias a esto, se logra disminuir la temperatura en comparación con el año 2009 cuando existía suelo desnudo. Lo contrario ocurre en los píxeles que registran un aumento de 1,8 °C y durante el verano 2009 acusaban presencia de vegetación nativa. Casos intermedios se distinguen en zonas que disminuyeron su temperatura entre 3 °C y 1 °C y coinciden con que fueron las viviendas iniciales del Conglomerado y que con el tiempo no generaron, o no disponen, de cantidad o calidad de infraestructura verde adecuada (Figura 10).

En el Barrio Lomas del Golf se observa una brecha de diferencia menor entre la LST del año 2009 y 2019 (Figuras 8 y 9). Las variaciones de temperatura en el terreno oscilan entre sectores con 3 °C más fríos, y aquellos con 1 °C, más caliente. Durante el año 2009, aquellas superficies que hoy se encuentran más frescas, en aquel momento se encontraban desprovistas de vegetación, o bien eran un mosaico de herbáceas y suelo desnudo. Hacia el año 2019, a pesar de las edificaciones construidas con la presencia de jardines y ejemplares de vegetación leñosa en los domicilios, se indica una disminución de la temperatura. Contrariamente, aquellas zonas que durante el año 2009 contaban con buena cobertura leñosa o herbácea, y actualmente con suelo desnudo o construido, presentan incrementos de aproximadamente 2 °C. Para el área del bosque de ribera residual se observa que las temperaturas prácticamente se mantienen estables, ya que esa cobertura, a pesar de haber sido presionada por los distintos factores relacionados a la urbanización como ser el reemplazo del área verde por pa-

vimiento y otras construcciones, aún muestra que mantiene la función de regular la temperatura al igual que en el año 2009.

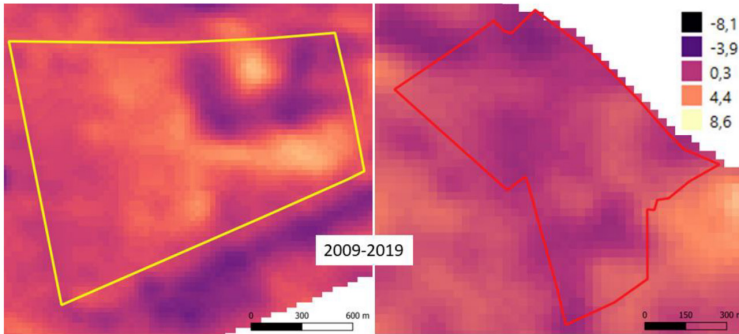


Figura 10. Variación de temperaturas en el periodo enero 2019-enero 2009 en el Conglomerado Campo Contreras (izq.) y Barrio Lomas del Golf (der.) durante la temporada de verano.

## Discusión

La urbanización no debe entenderse como un mero proceso social y económico, sino que, en este nuevo esquema de desarrollo, el factor ambiental dentro de ellas comienza a cobrar importancia para lograr la sustentabilidad (Sukkop y Werner, 1991).

La infraestructura verde, y en particular los bosques urbanos, han demostrado contrarrestar las diferencias térmicas entre las ciudades y su entorno producto de las actividades antrópicas que en ellas se llevan a cabo. Coincidentemente con lo que aporta Reyes (2020), la correcta planificación de los espacios urbanos en los que se incorpore infraestructura verde sirve como estrategia para mitigar los efectos del cambio climático, no solo por la disminución de las islas de calor sino además por el aporte de servicios ecosistémicos y por las mejoras en la calidad de vida, lo que lleva a aumentar la sustentabilidad

en los espacios urbanos (Cirigliano, 2017). Siguiendo con esta línea, pensar en los diferentes tipos de ambientes naturales urbanos de manera multicriterial incrementa la importancia de lo relacionado a los diversos procesos naturales que pueden ser obtenidos de la vegetación para solventar situaciones cotidianas del primer orden, con el fin del buen funcionamiento de una ciudad (Vásquez, 2016).

Disciplinas como la silvicultura urbana permiten realizar acciones de mejoramiento y creación de los espacios verdes en las ciudades (Zerda y Sosa, 2011), debido a que brindan, principalmente, ejemplares arbóreos para implantación en obras de arborización de manera rápida y adecuada dentro de los municipios, como es el caso de los barrios recientemente creados en la ciudad Capital de Santiago del Estero, donde el arbolado de alineación y el de las áreas verdes es escaso. En la mayoría de los casos, la infraestructura verde aparece años más tarde que la construcción de los barrios, lo que deja a los vecinos con un déficit de sus servicios ambientales. Tales mejoras comienzan a realizarse varios años después y supone un concepto erróneo en torno a la infraestructura verde, con lo que parece ser una visión simplificada de un mero requerimiento estético.

En la planificación y en el aspecto operativo, la percepción remota y los SIG brindan resultados muy interesantes y aplicativos en estudios de monitoreo ambiental, ya que permiten obtener y visualizar el conjunto de datos complejos de manera sintética y completa y en un tiempo más corto que muchos métodos que requieren trabajo intensivo en el terreno (Zerda, 2005). Teniendo en cuenta que actualmente se tienen diversos servicios de libre y gratuita obtención de imágenes satelitales de diversas características, estas tecnologías pueden ser utilizadas en forma intensiva.

El parámetro LST es un indicativo directo de la formación de islas de calor urbano (Weng, 2009), pues al contener en su cálculo la emisividad de los materiales permite discriminar

las temperaturas de las diferentes coberturas de suelo. De esta forma, se puede determinar que, principalmente en las temporadas de verano, aquellas zonas cubiertas de vegetación disminuyen la LST en comparación con aquellas superficies impermeables y edificadas (Wang *et. al.*, 2016). Este concepto queda reflejado en los sectores del Conglomerado Contreras y Lomas del Golf durante la temporada de verano de 2009 y en menor medida en el verano del 2019. Se advierte que durante el proceso de transición de uso de suelo, esto es, año 2014, la baja proporción de infraestructura verde en el sector Contreras solo está sujeta a la necesidad del vecino de adquirir una especie arbórea o herbácea y colocarla. Contrariamente, en el sector de Lomas del Golf, la superficie de bosque residual muestra claramente la diferencia de temperaturas entre este y las inmediaciones de suelo desnudo en el verano del año 2014.

Cabe aclarar que las formaciones vegetales que se presentaban durante el año 2009 se caracterizaban por ser de tipo boscosas con mayor continuidad espacial de la cobertura de copas, en contraposición con los individuos de arbolado público y privado del año 2019, entre los que se encuentran árboles de menor porte, individuos jóvenes, aislados, tanto en zonas públicas como privadas; pero, aun así, se representan en la proporción de los píxeles y definen la relación entre LST y cobertura verde.

El uso de índices para discriminar coberturas de suelo y la combinación de estos con la LST permite estimar, predecir y analizar los cambios que se realizan en la superficie terrestre (Arellano y Roca, 2018).

El uso de valores de temperaturas deja en claro el estado y la situación de la vegetación o del grado de urbanización del territorio y cómo se modifica la temperatura sobre la que se desarrollarán los procesos urbanos (Weng, 2009). Utilizar estos parámetros como estimadores de la UHS permite visibilizar la dinámica de la variación de las temperaturas y revelar posibles

soluciones para mitigar los efectos negativos que las ciudades aportan al cambio climático (Cirigliano, 2017).

Tanto el EVI como el SAVI demostraron mejor ajuste a la hora de discriminar las coberturas, contrariamente al NDVI, donde la reflectancia del suelo incide sobre el cálculo principalmente en zonas de baja cobertura vegetal en el área de estudio. Por esto, para terrenos con baja cobertura se sugiere utilizar diversos índices o directamente emplear SAVI para la obtención de mejores resultados (Gómez Vicario, 2014). Por otro lado, se admite que los valores globales de correlación LST vs IV presentan bajos niveles de asociación, para el año 2014 y 2019, debido a la baja proporción de cobertura verde a nivel de píxel o la heterogeneidad de coberturas en estos, lo que se traduce en la baja cantidad de vegetación presente en los píxeles de 30 m de las imágenes utilizadas y especialmente en las bandas térmicas de 100 m y 120 m de Landsat 5 y 8, respectivamente. Además, se puede afirmar que la relación LST vs NDBI genera asociaciones positivas durante los periodos estivales, lo que afirma aún más la existencia de las islas de calor.

Finalmente, se distingue una variación espacial de temperatura superficial en los diferentes sectores en relación con el estado inicial en el que se encontraban en el año 2009 con respecto al año 2019. Esta variación se encuentra determinada por las coberturas presentes que denotan zonas más calientes, con presencia de infraestructura gris o impermeable donde antes se encontraba suelo cubierto por vegetación y situaciones contrarias, es decir, zonas más frescas con el aporte actual de la cobertura verde donde antes existía suelo desnudo.

Definir los intervalos de tiempo adecuados para hacer más fiable la investigación es una parte importante en la definición de la misma. En este caso, se utilizó un lapso de diez años para documentar las mayores expansiones urbanas de la ciudad Capital.

### Conclusiones

El parámetro LST es un indicador directo de las islas de calor urbanas y varía en función de las coberturas de suelo. Este señala que, para las temporadas de verano, la presencia de mayor cobertura vegetal disminuye los valores de temperatura sobre las urbanizaciones.

Si la trama de vegetación es densa y agrupada como la de los bosques periurbanos, se tiende a la disminución de la temperatura, aún en las temporadas de invierno.

Tanto para el sector Conglomerado Contreras como para el Sector Lomas del Golf, se verificaron claras diferencias de LST en el periodo 2009-2019 producto del cambio de uso de suelo y las consiguientes coberturas que lo caracterizan, de bosques periurbanos a nuevas urbanizaciones. Aquellas porciones de suelo que actualmente reflejan variaciones térmicas tendientes a la disminución de temperaturas son las que presentan algún tipo de cobertura vegetal, y esta disminución se ve incrementada cuanto mayor sea la conectividad entre ellas.

A partir de los datos cuantitativos obtenidos, se pudo determinar la contribución de la vegetación a la amortiguación de temperaturas superficiales, lo que indica el beneficio de utilizar este servicio ecosistémico de orden público como política de mitigación del cambio climático en las ciudades.

Atendiendo a lo anteriormente enunciado, considerar a la infraestructura verde urbana dentro de los proyectos de planeamiento de las ciudades, con planes sostenibles en el tiempo, con escala urbanística y conectividad entre sus partes, es una de las estrategias a mediano y largo plazo con vistas a poder disminuir los efectos del estrés térmico de las islas de calor en los ecosistemas antrópicos.

Se evidenció que con los índices SAVI y EVI se obtuvieron mejores resultados en comparación con el NDVI y se constataron sus ajustes para zonas de características semiáridas, tal como es el caso de la ciudad Capital. Adicionalmente, el NDBI



ha demostrado ser un buen indicador del grado de crecimiento urbano en el contexto geográfico de esta investigación.

## Bibliografía

- Arellano, Blanca y Roca, Jose. (2018). "Áreas verdes e isla de calor urbana". En *Libro de Proceedings, CTV: XII Congreso Internacional Ciudad y Territorio Virtual: "Ciudades y Territorios Inteligentes"* (pp. 417-432). UNCuyo, Mendoza, 5-7 septiembre 2018. Barcelona: CPSV.
- Baigorri, Artemio. (2001). *Hacia la Urbe Global. Badajoz, me-sópolis transfronteriza*. Mérida: Editora Regional de Extremadura.
- Burkart Rodolfo, Bárbaro Nestor Omar, Sánchez Roberto Omar y Gómez Daniel Aldo (1999). *Ecorregiones de la Argentina*. Buenos Aires: Administración de Parques Nacionales y Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable.
- Burrough, Peter. (1986). *Principles of GIS for land resource assessment*. Clarendon Press.
- Chuvieco, Emilio. (1996). *Fundamentos de Teledetección Espacial*. 3ª Edición rev. Madrid: Ed. Rialp.
- Cirigliano, Rafaella. (2017). *Monitoring urban heat island through google earth engine: Potentialities and difficulties in the case of Phoenix, Arizona*. Roma: Sapienza Univ.
- Colucci, Alba. (2012). "La ciudad de Santiago del Estero, expansión y relación entre espacio público y privado". XVI Jornadas Nacionales de Investigadores en Comunicación. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad Católica de Santiago del Estero. Argentina.
- Del Corro, Florencia y Zerda, Hugo Raul. (2014). "Los SIG en el mapeo de vegetación y temperatura en ciudades. Estudio de caso: ciudad Capital de Santiago del Estero. Día del SIG 2014, aplicaciones de los SIG". Universidad Nacional de Santiago del Estero. Facultad de Ciencias Forestales.
- Di Pace, Maria y Caride Bartrons, Horacio. (2012). *Ecología urbana*. 1ª ed. Los Polvorines, Buenos Aires: Universidad Nacional de General Sarmiento.
- García, Felipe y Martilli, Alberto. (2012). "El clima urbano: aspectos generales y su aplicación en el área de Madrid". Índi-

- ce Rev. Estadística Soc. pp. 21–24.
- Goldblatt Ran, Stuhlmacher Michelle, Tellman Beth, Clinton Nicholas, Hanson Gordon, Georgescu Matei, Wang Chuyuan, Serrano-Candela Fidel, Khandelwal Amit, Cheng Wan-Hwa y Balling Robert. (2018). "Using Landsat and nighttime lights for supervised pixel-based image classification of urban land cover". *Remote Sensing of Environment*. (205), pp. 253-275.
- Gómez Vicario, Irene. (2014). Análisis de sellado de suelos en varios municipios de la Comunidad de Madrid : comparación de la pérdida de suelo entre 1987 y 2011. [Trabajo Fin de Máster]
- Hamin, Elisabeth y Gurrán, Nicole. (2009). "Urban Form and Climate Change: Balancing Adaptation and Mitigation in the US and Australia". *Habitat International*. 33(3), pp. 238-245.
- INDEC (2010). Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.
- iTree Canopy (2020). *I-Tree*. <https://canopy.itreetools.org/map>
- Jadraque Gago, Euelalia, Pacheco Torres, Rosalia y Etxebarria Berrizbeitia, Saioa. (2018). "An urban heat island study of Sevilla city based on Landsat data". 22nd International Congress on Project Management and Engineering, Madrid.
- Landsberg, Helmut. (1981). *The Urban Climate*. New York: Academic Press.
- Landscape Institute (2009). "Green infrastructure: connected and multifunctional landscapes". *The Landscape Institute Policy Committee*. Londres, UK.
- McGranahan, Gordon y Satterthwaite, David. (2014). "Urbanization concepts and trends". IIED Working Paper. IIED, London.
- Moreira, Maria Lourdes y Zerda, Hugo Raul. (1993). "Mapeo de Áreas Verdes en Zonas Urbanas y Periurbanas a través de Fotografías Aéreas: Una Aplicación al Estudio de la Ciudad Capital de Sgo. del Estero". Convenio Agencia Alemana de Cooperación Técnica GTZ-UNSE-Municipalidad de la Capital. Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques, FCF-UNSE. Informe inédito.
- Moreira, Maria Lourdes. (1998). *Staedtische und vorstaedtis-*

- che Gruenflächen-Landnutzungskartierung mit Hilfe der Fernerkundung und GIS am Beispiel der Stadt Santiago del Estero-Argentinien [Thesis M.Sc.]. Fakultät für Forstwissenschaft und Waldökologie, Georg-August-Universität zu Göttingen, Alemania.
- Moreira, Maria Lourdes y Zerda Hugo Raúl. (1999). "Mapeo de áreas verdes en ambientes urbanos mediante datos SPOT e Índices de vegetación". 1ras. Jornadas SIG, INTA-UNSE, nov. 1999, Santiago del Estero.
- Moreira, Maria Lourdes y Zerda Hugo Raul (2000). "Caracterización Ecológica de Ambientes Urbanos y Periurbanos Mediante la Percepción Remota y SIG". En Actas del XI Congreso Nacional de Fotogrametría y Ciencias Afines, Santiago del Estero, Argentina. 18-21.09.2000.
- Municipalidad de la Ciudad de Santiago del Estero (2021). "Barrios oficiales de la ciudad". *Municipalidad de la Ciudad de Santiago del Estero*.
- PNUMA (2007). GEO San Miguel de Tucumán: perspectiva del medio ambiente urbano.
- Santiago Ramos, Jesus. (2008). *La naturaleza en la ciudad: perspectivas teóricas y metodológicas para el estudio de la funcionalidad ambiental del espacio libre*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Obras Públicas y Transportes.
- Stohlgren, Thomas; Chase, Thomas; Pielke, Roger; Kittel, Timothy y Baron, Jill (1998). "Evidence that local land use practices influence regional climate, vegetation and stream flow patterns in adjacent natural areas". *Global Change Biology*. (4), pp. 495-504.
- Sukopp, Herbert y Werner, Pia. (1991). *Naturaleza en las ciudades: Desarrollo de flora y fauna en áreas urbanas*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes.
- Thompson, Ward Katharine. (2002). "Urban Open Space in the 21st Century". *Landscape and Urban Planning*. 60(2), pp. 59-72
- Tumini, Irina. (2010). "Estrategias para la reducción de efectos de islas de calor en los espacios urbanos. Estudio aplicado

- al caso de Madrid". *SB10Mad*. Madrid, España.
- USGS (2020). *EarthExplorer*. Servicio Geológico de los EEUU. <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Vásquez, Alexis. (2016). "Infraestructura verde, servicios ecosistémicos y sus aportes para enfrentar el cambio climático en ciudades: el caso del corredor ribereño del río Mapocho en Santiago de Chile". *Revista de geografía Norte Grande*. (63), pp. 63-86.
- Wang, Yupeng, Berardi, Umberto y Akbari, Hashem (2016). "Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada". *Energy and Buildings*. (114), pp. 2-19.
- Weng Qihao. (2009). "Thermal Infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends". *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 64(4), pp. 335-344.
- Yue, Wenze, Xu, Jianhua, Tan, Weihong. y Xu, Lihua. (2007). The relationship between land surface temperature and ndvi with remote sensing: application to shanghai landsat 7 ETM+ data. 28:15, 3205-3226. *International Journal of Remote Sensing*. 28(15), pp. 3205-3226.
- Zerda Hugo Raul. (2005). "Percepción remota y SIG en la planificación y la gestión ambiental". En Giannuzo A. y Ludueña M. (comp.) *Santiago del Estero: una mirada ambiental*, (pp 333-354)., Santiago del Estero, Argentina: Ed. UNSE.
- Zerda, Hugo Raul, Sosa, Beatriz. (2011). "Estructura espacial de la cobertura de *Eucalyptus camaldulensis* del Parque Aguirre, Santiago del Estero, Argentina". *Quebracho*. 19(1-2), pp. 38-45.

# LA VEGETACIÓN CHAQUEÑA Y SU RELACIÓN CON DISTURBIOS, DESDE UNA PERSPECTIVA FUNCIONAL. RESPUESTAS DE BOSQUES CHAQUEÑOS A DISTURBIOS

SANDRA BRAVO<sup>1</sup>; NELLY ABDALA<sup>1</sup>; ANA SANTACRUZ<sup>2</sup>; DANTE LOTO<sup>2</sup>;  
VALERIA IBÁÑEZ-MORO<sup>1</sup>; FLORENCIA DEL CORRO<sup>1</sup>; FERNANDO OJEDA

## Resumen

Los bosques del Chaco semiárido se encuentran bajo explotación forestal y ganadera creciente, desde comienzos del siglo pasado. El incremento de la población y la demanda de recursos naturales han producido cambios en los patrones de explotación y en las unidades de vegetación que proveen materias primas. Muchas de las intervenciones humanas representan disturbios para la dinámica natural de las comunidades vegetales. El desafío de quienes definen el ordenamiento territorial, y regulan las actividades productivas para lograr un desarrollo sustentable, es sostener el equilibrio entre la demanda de recursos y su conservación. En este capítulo se comunican

1 Cátedra de Botánica General, Facultad de Ciencias Forestales, (UNSE).

2 Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-UNSE)

algunos avances de investigaciones en relación con la ecología de bosques nativos del Chaco Occidental de Argentina, focalizados principalmente en la estructura, composición, inflamabilidad y estrategias de regeneración de especies leñosas en áreas con disturbios. Los estudios se llevaron a cabo con un enfoque funcional que intenta analizar los cambios generados por disturbios sobre bosques chaqueños, desde una perspectiva que tiene en cuenta los principales procesos ecosistémicos. Los disturbios analizados representan a las prácticas de manejo comunes en la actividad forestal y ganadera, a nivel regional.

Palabras clave: disturbios, bosques chaqueños, fuegos, rolad, inflamabilidad, reclutamiento.

### **Abstract**

The native forests of the Western Argentine Chaco region have been increasingly exploited for forestry and livestock fields from early last century. The increase of the human population and the demand of natural resources have generated changes in exploitation patterns. Several human activities related to natural resource exploitation represent disturbances in natural plant communities' dynamics. The challenge of environmental managers who regulate the territorial design and the normative for production activities is to hold equilibrium between demand and conservation. This chapter communicates the research advances related to the ecology of the Western Chaco region forests, focusing mainly on forest structure, species composition, plant flammability and regeneration strategies of native woody species. The studies were carried out with a functional approach with the goal to represent the effects of changes on the main ecosystem processes. The studied disturbances represent the most common forest management

practices at regional level.

Keywords: disturbances, Chaco region forests, fires, roller-chopping, plant flammability, recruitment.

## Antecedentes

Uno de los desafíos más importantes de los administradores ambientales y de las autoridades implicadas en la toma de decisiones con relación a los recursos naturales, es mantener el equilibrio entre la conservación y las demandas productivas y sociales de los diferentes ecosistemas a gestionar. Los recursos económicos generados a partir de un desbalance entre producción y conservación de recursos naturales no garantizan el acceso a una buena calidad de vida (vivienda, salud, alimento, educación, entre otras demandas) para la población, al menos no de manera sostenida en el tiempo. Las agendas ambientales gubernamentales prevén líneas de acción para la conservación y desarrollo sustentable, que no siempre se traducen de manera concreta y tangible en un mejor manejo de los recursos naturales. El manejo y explotación no planificada de los recursos naturales durante décadas (Fernández *et al.*, 2019), la insuficiente asistencia de instituciones responsables de brindar asesoramiento, y la falta o escasez de canales apropiados para transferir conocimientos y tecnologías, generan muchas veces una distancia entre modelos productivos y la conservación de recursos en sistemas naturales. La estrategia de gerencia compartida es necesaria para promover las asociaciones entre los agentes de cooperación, la organización ejecutante y las comunidades locales. La responsabilidad de gestión compartida y real entre los diferentes actores de esta asociación pueden beneficiar y optimizar el manejo de los recursos y la toma de decisiones, que de manera individual suele



estar sujeta a resistencias y conflictos (Rojas e Infante, 1998).

Desde el Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Santiago del Estero, se ejecutan diferentes proyectos de investigación, cuyos objetivos son generar información básica necesaria para la toma de decisiones relacionadas al manejo de recursos forestales de la región del Chaco semiárido argentino. Estos proyectos de investigación se han tornado con el tiempo cada vez más interdisciplinarios y transversales en la interacción con otras instituciones de ciencia, tecnología y servicios a la comunidad. Durante el período 2016–2019 se desarrollaron dos proyectos de investigación para evaluar las respuestas regenerativas de la vegetación nativa del Chaco semiárido argentino bajo diferentes combinaciones de disturbios, titulados: a) "Rasgos funcionales en especies leñosas nativas del Chaco y estrategias de regeneración vegetativa posdisturbio" y, b) "Estudios ecológicos en bancos de semillas de especies leñosas nativas del Chaco y su relación con disturbios antrópicos".

Los objetivos generales de los proyectos fueron determinar el efecto de diferentes prácticas de manejo forestal (como el aprovechamiento, la ganadería, los rolados y el fuego) sobre la regeneración vegetativa (proyecto a) y sexual (proyecto b) de especies de leñosas nativas, y sobre la estructura y funcionamiento de bosques.

Algunos de los trabajos que se mencionan como antecedentes corresponden a dos tesis de maestrías, dos tesis doctorales defendidas y aprobadas, y otras tesis doctorales en ejecución. Las evaluaciones a campo se ejecutaron con el apoyo de la Estación Experimental Agropecuaria del INTA, Santiago del Estero. El Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, a través de un Proyecto PICTO "Regímenes de perturbación de bosques nativos y otras comunidades vegetales del Chaco occidental" (2016–2019) y mediante la firma de convenio interinstitucional, facilitó la fabricación de un dispositivo para

las evaluaciones de inflamabilidad. Los análisis bioquímicos se realizaron en el Laboratorio de Antioxidantes y Procesos Oxidativos (LAPOX) del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

El objetivo de este capítulo es comunicar los resultados más relevantes obtenidos durante el desarrollo de los proyectos de investigación recientemente finalizados de nuestro equipo de trabajo. Para esto se describe el área de estudio y se abordan diferentes aspectos de la estructura, estrategia de regeneración post disturbio (vegetativa y sexual) e inflamabilidad de especies de leñosas nativas del Chaco Occidental de Argentina, considerando el fuego como el disturbio más común a nivel regional (Bravo et al., 2008; 2010; Loto y Bravo, 2020; Landi et al., 2020) y a diferentes prácticas de manejo, como disturbios o perturbaciones relacionadas a las actividades ganaderas y forestales. Esta información puede ser de utilidad para administradores ambientales e investigadores responsables del manejo de bosques nativos.

## Área de estudio

El área de estudio está ubicada en la Región Chaqueña Occidental de Argentina. El clima es semiárido y estacional, con las precipitaciones concentradas desde octubre a marzo. La temperatura promedio anual es 19.8 °C y los promedios del mes más cálido y del mes más frío son 2.1 °C y 10.6 °C, respectivamente. La precipitación promedio anual es de 579 mm.

Los sitios de estudio se emplazaron en el Campo Experimental Francisco Cantos del INTA (CExINTA), en la provincia de Santiago del Estero (Figura 1B), y la Reserva Nacional Pizarro, de la Administración Nacional de Áreas Protegidas (RN Pizarro), en la provincia de Salta (Figura 1A). Ambos sitios contienen bosques nativos en buen estado de conservación y va-

lios áreas de pastizales y sabanas (Kunst *et al.*, 2014; Loto *et al.*, 2018; Borghetti *et al.*, 2019).

Las áreas presentan condiciones ambientales diferentes dentro de la extensa Región Chaqueña, en relación con la disponibilidad de agua e historia de disturbios. Por un lado, la RNPizarro corresponde a un ambiente ligeramente semiárido (750-900 mm promedio de precipitación anual), dentro de un área protegida en las últimas cuatro décadas, con niveles mínimos de explotación de recursos forestales, a cargo de la comunidad indígena Wichí (Loto y Bravo, 2020). Por otro lado, el CExINTA representa a un ambiente semiárido más marcado (500-750 mm promedio de precipitación anual), con diferentes combinaciones de disturbios (rolado, fuegos, ganadería y aprovechamiento forestal) que modificaron la estructura original de estos bosques nativos, principalmente con fines experimentales (Ledesma *et al.*, 2018; Casillo *et al.*, 2012; Kunst *et al.*, 2012).

### **Historia de disturbios, composición y estructura de bosque chaqueños**

Los resultados de estudios sobre estructura y composición de especies indicaron mayor diversidad para los bosques chaqueños de RNPizarro respecto a CExINTA. La mayor diversidad de plantas leñosas se vio reflejada en el dosel de RNPizarro, sin embargo, se encontró una mayor riqueza de especies en el estrato arbustivo de CExINTA. Los tamaños de las plantas en diámetros y alturas promedios fueron mayores en el área protegida (Figura 2A). Se encontraron también diferencias significativas en la proporción de rasgos funcionales como la forma de crecimiento de las plantas (i.e., árboles, arbustos y subarbustos), la textura de las hojas (hojas herbáceas o coriáceas), presencia de espinas, presencia de rebrotes (p. ej. nuevas

ramas) y el número de tallos (i.e., plantas con tallos simples o múltiples). Los análisis de frecuencia de estos rasgos funcionales fueron categóricos, lo cual es lo usual para caracterizaciones funcionales tempranas en sitios con gradientes ambientales. Los resultados reflejaron el gradiente de disturbio entre ambos sitios, donde CExINTA caracterizado con mayor recurrencia de disturbios se asoció con mayor frecuencia de subarbustos; mientras que RNPizarro, con un mayor control de disturbios e intervenciones antrópicas, se asoció a una mayor frecuencia de árboles y arbustos (Loto y Bravo, 2020; Figura 2B). Los bosques de CExINTA presentaron mayores frecuencias de plantas con tallos múltiples, elevada intensidad de rebrotes, hojas herbáceas y presencia de espinas. La menor ocurrencia de disturbios en RNPizarro se asoció con plantas de hojas coriáceas, sin espinas y tallos con baja intensidad de rebrotes (Figura 2B). La menor recurrencia de disturbios en este último sitio de estudio y la mayor disponibilidad de agua, propia de la transición hacia las yungas de Argentina, se evidencia en el desarrollo de bosques con una mayor estructura, un dosel más diverso y una mayor representatividad de rasgos conservativos en las especies de los diferentes estratos. Por otro lado, la mayor frecuencia de disturbios y la menor disponibilidad de agua de CExINTA se asociaron con bosques con una menor estructura y una mayor frecuencia de rasgos adquisitivos, que permiten una rápida captura de recursos (Ledesma *et al.*, 2018; Bravo *et al.*, 2019; Loto y Bravo, 2020).

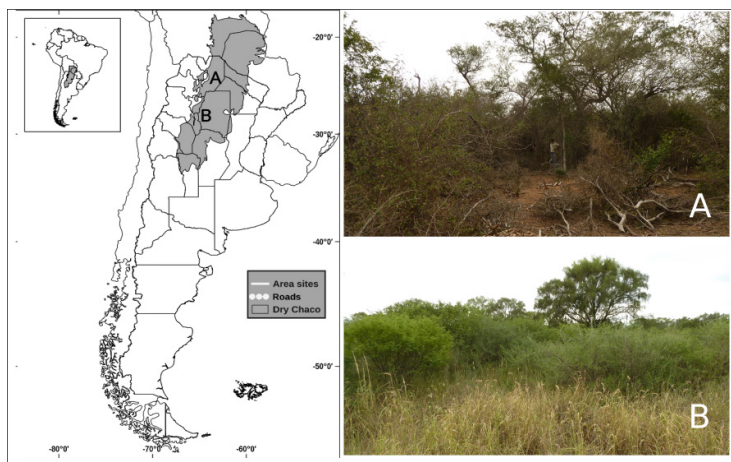


Figura 1. Área de estudio dentro de la región del Chaco semiárido argentino. (A) Reserva Nacional Pizarro en la provincia de Salta con bosques chaqueños bien desarrollados en estos ambientes. (B) Campo Experimental INTA en la provincia de Santiago del Estero con una unidad de vegetación que tuvo fuego y rolado en el pasado.

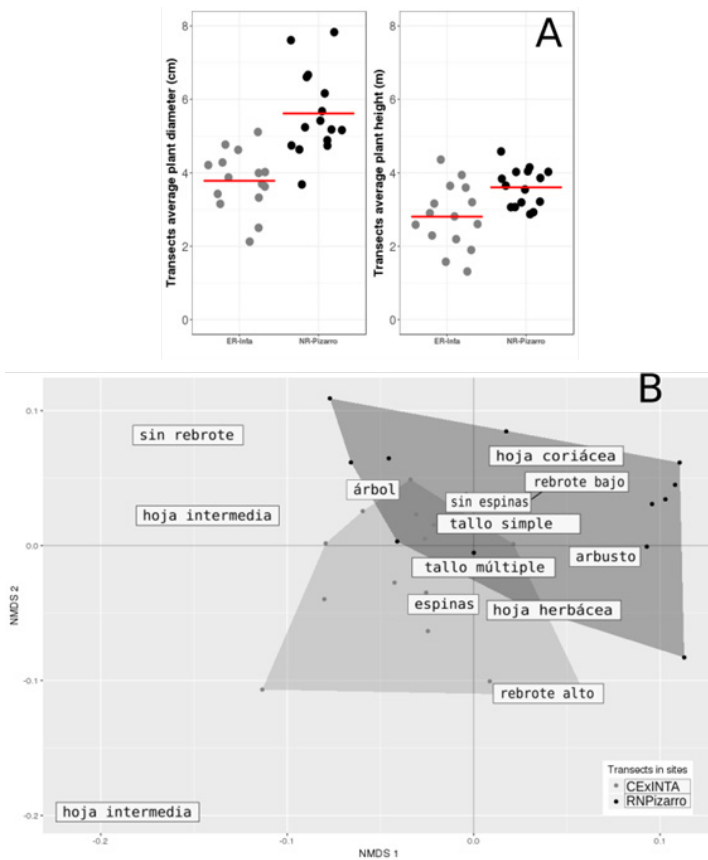


Figura 2. (A) Diámetros y alturas promedio general (línea roja) de plantas leñosas para el Campo Experimental INTA (puntos grises) y la Reserva Nacional Pizarro (puntos negros). (B) Análisis de asociación entre rasgos funcionales y las unidades de muestreo para cada sitio. La ubicación de las etiquetas y de los puntos indica el grado de relación para cada sitio (áreas sombreadas). Tomado de Loto y Bravo (2020).

Las diferencias de tamaños de plantas y sus estrategias de funcionamiento en estos ecosistemas influyen en la estructura y capacidad de acumulación de biomasa leñosa y carbono (Loto, 2021). Las historias de uso de los bosques chaqueños pueden comprometer la diversidad de especies leñosas, así como la frecuencia y severidad de disturbios resulta determinante para la recuperación de la estructura del bosque (Loto *et al.*, 2018; Loto y Bravo, 2020). Landi *et al.* (2020) comunicaron que en su sitio de estudio (provincia de Santiago del Estero), el 53% de bosques chaqueños quemados se transformaron a arbustales 8 años después del fuego, y que el estado y vigor de la vegetación antes del disturbio, así como variables ambientales después del disturbio, disminuyeron la resiliencia estructural impidiendo el retorno a la comunidad original.

### Los disturbios y la inflamabilidad de bosques chaqueños

La relevancia de este tema de investigación se incrementó en estos últimos años de manera paralela a la creciente recurrencia de incendios a escala global. Los incendios de 2019 en la Amazonía brasileña y la simultaneidad de focos de incendios durante la temporada de fuego 2020/2021 en nuestro país reflejan lo significativo del estudio de la inflamabilidad de las especies leñosas nativas del Chaco de Argentina, con un enfoque funcional. El efecto del fuego y otros disturbios sobre la capacidad de respuesta regenerativa por vía vegetativa (rebrotos) de la vegetación nativa, frente a quemas experimentales, ha sido abordada en bosques chaqueños de la provincia de Santiago del Estero por Bravo *et al.* (2014), Ledesma *et al.* (2018) y Coria *et al.* (2021).

Las evaluaciones de inflamabilidad a partir de rasgos funcionales presentaron el desafío de vincular la investigación con medidas de gestión de vegetación, ya que este enfoque

permite estimar la inflamabilidad mediante caracteres sencillos y rápidos de medir. Para ello se siguieron metodologías estandarizadas para rasgos funcionales (Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Se seleccionaron para este estudio once especies de leñosas nativas (arbóreas y arbustivas) y se evaluaron rasgos como el contenido de materia seca en hojas y ramas, el grado de ramificación, hábito de crecimiento, persistencia foliar, el tiempo de secado, la tasa de quemado y el porcentaje de combustión (Santacruz-García, 2018; 2020) (Figura 3). Se compararon los rasgos funcionales en bosques de CExINTA, bajo clausura desde 1982, y en bosques con rolados y fuegos no prescritos en la misma estación experimental. Como método complementario, se empleó un dispositivo de baja tecnología para medir la inflamabilidad diseñado por Jaureguiberry *et al.* (2011) y patentado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) de Argentina. La singularidad de este trabajo fue que por primera vez se evaluaron de manera comparativa las categorías de inflamabilidad determinadas por rasgos funcionales y aquellas obtenidas mediante el uso de un dispositivo de baja tecnología para medir inflamabilidad. Los resultados indicaron que el 60% de las especies estudiadas poseen inflamabilidad elevada a muy elevada y que la periodicidad foliar y el hábito de crecimiento son rasgos funcionales relevantes para categorizar la inflamabilidad de estas especies (Santacruz-García *et al.*, 2019) (Figura 4). Las especies de mayor inflamabilidad incluyen a especies arbustivas de hojas coriáceas.





Figura 3. Follaje y ramas de algunas de las especies estudiadas A. *Senegalia gilliesii*. B. *Schinus molle*. C: *Schinopsis lorentzii*. Fotos: Sandra Bravo.

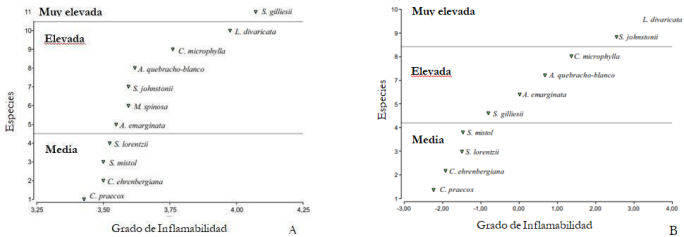


Figura 4. Grado de inflamabilidad (GI) determinado por Análisis de Componentes Principales de rasgos funcionales. A. Mediante rasgos funcionales. B. Mediante un dispositivo de baja tecnología para medir la inflamabilidad (Jaureguiberry *et al.*, 2011); se considera que el primer eje del ACP explicó un porcentaje alto de la variación de los datos, este eje fue usado como GI. Tomado de Santacruz *et al.* (2019).

Además, los resultados indicaron que la inflamabilidad de las especies no varió significativamente entre bosques en clausura y bosques con rolados y fuegos, al menos con relación a los rasgos funcionales considerados en este análisis (Santacruz *et al.*, 2019). Sin embargo, nuestros resultados permiten indicar que se trata de vegetación propensa al fuego que, además, experimenta variaciones estacionales en la inflamabilidad a lo largo de la temporada de fuego de la Región Chaqueña (Bravo *et al.*, 2010; Kunst *et al.*, 2014, Santacruz *et al.*, 2019). Argaña-

raz *et al.* (2016) indicaron también una variación interanual en la probabilidad de incendios, producto de la disponibilidad de agua y el estado de desecación de los combustibles. El estrato arbustivo constituye un combustible de elevada inflamabilidad, entre los meses de junio a octubre (Santacruz *et al.*, 2019), aspecto que se relaciona con un muy bajo contenido de humedad en el suelo, la baja humedad relativa del aire y la incidencia de vientos desecantes durante esos meses (Kunst *et al.*, 2014). Nuestros resultados pueden contribuir a la planificación de las actividades de manejo, con miras a una gestión forestal preventiva de incendios de comportamiento extremo. Un ejemplo de ello es la importancia de realizar monitoreos periódicos a lo largo de la temporada de fuego para detectar cambios en la inflamabilidad de los combustibles vegetales, a fines de disminuir la probabilidad de incendios de comportamiento extremo.

La respuesta regenerativa frente a disturbios, como roldos, pastoreo y fuego que producen la remoción sincrónica y episódica de biomasa, está principalmente relacionada a la gran capacidad de rebrote de las especies de leñosas nativas (Gurvich *et al.*, 2005; Bravo *et al.*, 2014; 2019; Ledesma *et al.*, 2018). Los resultados de las investigaciones muestran que la capacidad de rebrote resulta afectada por la intensidad de los disturbios y las características intrínsecas de las especies, como su banco de yemas, el grado de protección brindado por tejidos u órganos de aislamiento (Bravo *et al.*, 2014; 2019) (Tabla 1, Figura 5) y las tasas de crecimiento (Ledesma *et al.*, 2018). La capacidad de rebrote de ejemplares juveniles es mayor en especies con mayor tamaño de banco aéreo de yemas, y la expresión de yemas en espinas es mayor entre especies arbustivas (Tabla 1). Esto parece indicar un mayor número de tallos y espinas en bosques intensamente disturbados y la dominancia de arbustos, en desmedro de las especies arbóreas.

Otros estudios permitieron identificar la importancia de la fisiología y la respuesta bioquímica de las especies leñosas na-

tivas en el rebrote después del fuego. Por ejemplo, se evidenció la importancia de los compuestos fenólicos y de los pigmentos fotosintéticos tanto en la capacidad de rebrotar como en la altura, diámetro y número de rebrotes, y la mayor aptitud de especies arbustivas que las arbóreas para la regeneración vegetativa (Santacruz-García *et al.*, 2021). Otros rasgos funcionales que experimentan cambios en respuesta a disturbios son el área foliar y el área foliar específica. Ellos reflejan la capacidad de mantener la productividad primaria neta y la estrategia para captar recursos liberados por disturbios que remueven o consumen biomasa (Lavorel y Garnier, 2002; Terradas, 2001; Pérez-Harguindeguy *et al.*, 2013). Se han identificado incrementos en el área foliar y en el área foliar específica en seis especies leñosas de bosques nativos, en respuesta a rolados, fuegos y aprovechamiento forestal (Del Corro *et al.*, no publicado). Estos cambios podrían incrementar la inflamabilidad de las especies de bosque chaqueño frente a un régimen de alta frecuencia de disturbios y bajo condiciones ambientales futuras (incrementos en la temperatura media anual, intensificación de sequías, entre otros) que se prevén por el cambio climático (FAO, 2020).

El ajuste de la frecuencia y severidad de disturbios parece tener un rol clave en los cambios en la estructura, composición de especies y dinámica natural de los bosques chaqueños (Loto y Bravo, 2020; Loto, 2021). Los resultados en relación con la regeneración vegetativa posdisturbio y a la inflamabilidad de las especies contribuyen a la comprensión de la capacidad de resiliencia de la vegetación nativa.

Especies	Número de ramas/ rebrotes	Número de espinas	Longitud de espinas (cm)	ABB
<i>Schinopsis lorentzii</i>	45.6 (15.8) <sup>a</sup>	5.0 (6.2) <sup>a</sup>	2.1 (0.5)	50.6 (16.4) <sup>a</sup>
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	19.4 (7.8) <sup>c</sup>	--	---	19.6 (7.4) <sup>c</sup>
<i>Sarcomphalus mistol</i>	35.0 (13.0) <sup>b</sup>	2.0 (3.9) <sup>a</sup>	2.0 (1.6)	37.0 (12.5) <sup>b</sup>
<i>Schinus fasciculatus</i>	34.0 (23.5) <sup>a</sup>	17.7 (19.2) <sup>b</sup>	4.3 (3.2)	47.6 (24.6) <sup>a</sup>

Tabla 1. Promedio de número de rebrotes y número y longitud de espinas en ejemplares juveniles de 4 especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina. Tomado de Bravo *et al.* (2019). Letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas, test de Duncan ( $p < 0.05$ ).

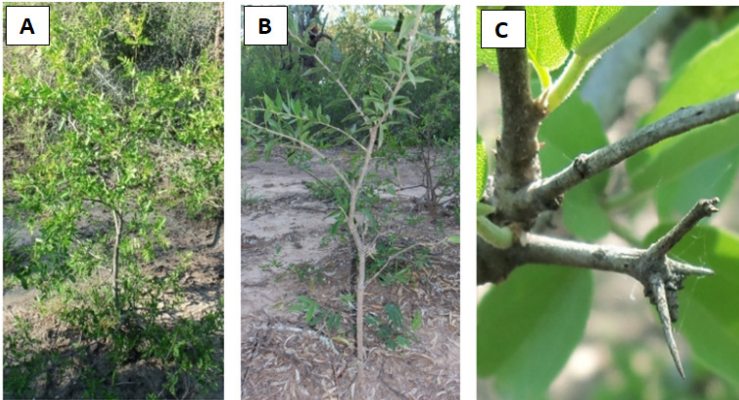


Figura 5. Patrón de rebrotes y espinescencia en ejemplares juveniles de A: *Schinopsis lorentzii*. B: *Aspidosperma quebracho-blanco*. C: *Sarcomphalus mistol*. Tomado de Bravo *et al.* (2019)

### Respuesta regenerativa por semillas de leñosas nativas y disturbios

Los resultados con relación a la regeneración sexual después de disturbios antropogénicos en la Región Chaqueña Occidental de Argentina son aún escasos y fragmentarios (Pérez Vizcarra *et al.*, 2018). Un aspecto clave a considerar, cuando

se evalúa el efecto de disturbios vinculados a actividades productivas, es si la remoción de biomasa que generan influye en la producción de semillas, en su capacidad para incorporarse al suelo, germinar y establecer plántulas en el ambiente disturbio (Nishar *et al.*, 2017; Lipoma *et al.*, 2020). Ocampo-Zuleta y Bravo (2019) mencionan como muy relevantes para el éxito reproductivo, en ambientes alterados por fuego, la capacidad de tolerar el shock térmico y los cambios ambientales que se producen luego de incendios, como el incremento de la radiación, de la temperatura del suelo y el riesgo de desecación. A pesar de tratarse de una práctica cada vez más difundida, no hay datos disponibles sobre el efecto de rolados, aprovechamiento forestal o ganadería en el banco de semillas de bosques chaqueños.

Abdala (2016) identificó una baja representatividad de los propágulos de especies de leñosas nativas del Chaco semiárido, en el banco de semillas del suelo. Datos aún no publicados de nuestras investigaciones (Bravo *et al.*, no publicado) indican que el sinergismo de fuego y ganadería reduce de manera significativa la densidad de semillas en el suelo, a diferencia de bosques con rolados y aprovechamiento forestal y de bosques con ganadería y siembra de pasturas. En estos dos últimos no se identificaron diferencias significativas en la densidad de propágulos en el banco del suelo, respecto al bosque en clausura. Lipoma *et al.* (2017) establecieron que fuegos accidentales en arbustales del Chaco Semiárido tuvieron un efecto negativo en la abundancia de semillas en el suelo y que la composición florística del banco de semillas de suelo difiere marcadamente de la vegetación en pie, tanto en sitios quemados como no quemados. Esto parece indicar que la capacidad de formar bancos de semillas del suelo difiere entre las especies.

La frecuencia de incendios se ha incrementado a escala regional (Bravo *et al.*, 2010; 2021). El shock térmico producido por el fuego puede producir la mortalidad de los propágulos

en el banco de semillas del suelo o disminuir su viabilidad. Los antecedentes con relación a los efectos de shock térmico en semillas de especies nativas del Chaco de Argentina incluyen estudios realizados en laboratorios, con simulaciones a diferentes rangos de temperatura que oscilan entre 70 °C a 140 °C. Jaureguiberry y Díaz (2015) determinaron germinación tolerante, e inclusive estimulada por el calor, entre especies arbóreas, arbustivas y herbáceas del Chaco Serrano. Dentro de la misma región, Arcamone y Jaureguiberry (2018) identificaron una estimulación de la germinación al calor y al humo en ocho especies de latifoliadas herbáceas, anuales y perennes.

Ibáñez-Moro *et al.* (2021) determinaron un comportamiento diferencial de los propágulos con relación al shock térmico (80 °C a 170 °C, durante 5 minutos en laboratorio), en cinco especies de leñosas de bosques del Chaco Occidental de Argentina. De acuerdo con estos autores, las semillas de *A. quebracho-blanco*, *S. lorentzii* y *Sarcomphalus mistol* presentan algún tipo de dormición y aun así son sensibles a shock térmico por encima de los 80 °C durante 5 minutos. *Prosopis nigra* y *Vachellia aroma* presentan semillas con dormición física (a nivel de cubierta seminal y las paredes de sus frutos) y tolerancia a temperaturas de hasta 110 °C (Figura 6).

Los rasgos funcionales de las semillas y los caracteres específicos como la dormición son datos esenciales para comprender el rol de los bancos de semillas en la regeneración después del disturbio. Los resultados obtenidos hasta el momento por nuestro equipo de investigación parecen indicar que bajo un régimen de fuegos recurrentes, aún de baja intensidad, las especies dominantes del dosel y algunas de piso intermedio de bosques chaqueños podrían ver comprometida su capacidad de reclutar, ya que durante los incendios se sobrepasan fácilmente las temperaturas evaluadas (Ibáñez-Moro *et al.*, 2021). Las características de las unidades de dispersión de *P. nigra* y *V. aroma* (legumbres indehiscentes leñosas muy palatables) y la

tolerancia al shock térmico de sus semillas podrían explicar su dominancia en ambientes disturbados por fuegos recurrentes y pastoreo, como son las sabanas chaqueñas (Abraham de Noir y Bravo, 2014; Fernández *et al.*, 2019; Ibáñez-Moro *et al.*, 2021; Coria *et al.*, 2021). Las especies arbóreas del dosel y piso medio de los bosques chaqueños parecen depender de la capacidad de enterramiento en el suelo para su persistencia en ambientes disturbados por fuegos (Ibáñez-Moro y Bravo, no publicado).

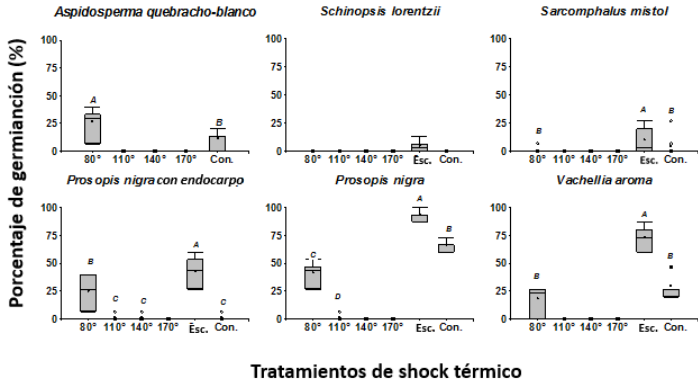


Figura 6. Efectos de shock térmico (80 °C, 170 °C, 110 °C, 140 °C) en la germinación de semillas de cinco especies leñosas nativas de la Región del Chaco argentino. Los choques térmicos se aplicaron a las semillas durante cinco minutos. Los controles estaban constituidos por ambas semillas intactas (Con.) y semillas escarificadas (Sca.). Letras diferentes indican diferencias significativas en el porcentaje de germinación promedio alcanzados por cada especie sobre los tratamientos (prueba DGC;  $\alpha = 0,05$ ). Tomado de Ibáñez Moro *et al.* (2021).

## Conclusiones preliminares

Los resultados de los estudios realizados por los dos proyectos, que se mencionan al comienzo de este capítulo, indican que los disturbios pueden generar cambios en la estructura y el funcionamiento de los bosques chaqueños a través modificaciones en la frecuencia relativa de rasgos funcionales (hábito de crecimiento, altura, diámetro, espinescencia y persistencia foliar) fundamentalmente en el estrato arbustivo (Loto y Bravo, 2020; Del Corro, no publicado). Sin embargo, las especies chaqueñas demuestran una gran capacidad de regeneración vegetativa frente a disturbios vinculados a la actividad forestal y ganadera tradicional en los bosques nativos y al fuego (Bravo *et al.*, 2014a; Ledesma *et al.*, 2018; Coria *et al.*, 2021; Santacruz *et al.*, 2021). Sin embargo, frente a un potencial incremento de la frecuencia e intensidad de disturbios, y del sinergismo entre ellos, su capacidad regenerativa por vía vegetativa puede verse superada, con lo que se alterarían algunos procesos ecosistémicos importantes como el almacenamiento de carbono (Loto y Bravo, 2020; Loto, 2021; Herrera *et al.*, en arbitraje). La inflamabilidad del estrato arbustivo de los bosques chaqueños plantea la necesidad de una gestión forestal preventiva para evitar incendios de comportamiento extremo, e inclusive, más allá de la establecida temporada de incendios de la Región Chaqueña (Santacruz *et al.*, 2019). La capacidad de recuperación de la estructura y funcionalidad de bosques afectados por fuegos depende del vigor, la complejidad estructural previa a cada disturbio, la configuración del paisaje, así como de factores climáticos y de manejo del ambiente después de ocurrencia (Landi *et al.*, 2020).

Los antecedentes de nuestro equipo de investigación, relacionados a la regeneración de especies de leñosas nativas del Chaco a partir de los bancos de semillas, sugieren que los disturbios alteran la disponibilidad de propágulos en el suelo y



que la composición de especies de la vegetación en pie difiere marcadamente de la del banco del suelo (Abdala, 2016; Bravo *et al.*, no publicado). El fuego, como el disturbio ubicuo en los ambientes chaqueños, podría tener un efecto negativo en la densidad y viabilidad de los propágulos, debido a la remoción de biomasa y a la sensibilidad al shock térmico (Jaureguiberry y Díaz, 2015; Ibáñez-Moro *et al.*, 2021). Esto representa un desafío importante para los administradores ambientales, teniendo en cuenta los cambios en las variables biofísicas del ambiente que generan los disturbios y los diferentes requerimientos de las especies para reclutar. El conjunto de características biofísicas que definen la calidad de los microsítios para el establecimiento exitoso de plántulas representa la línea futura a desarrollar por nuestro equipo de investigación, mediante un proyecto ya aprobado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE (2020-2023).

## Bibliografía

- Abdala, N.R. (2016). *Banco de semillas en el suelo de especies leñosas de un bosque nativo del Chaco semiárido*. Tesis. Maestría en Desarrollo de Zonas Áridas y Semiáridas. Facultad de Agronomía y Agroindustrias. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Abraham de Noir, F. y Bravo, S. (2014). *Frutos de Leñosas Nativas del Chaco (Vol. 1)*. Santiago del Estero: Ediciones UNSE.
- Arcamone, J. y Jaureguiberry, P. (2018). "Response of common annual and perennial forbs to heat shock and smoke treatments in the Chaco Serrano, central Argentina". *Austral Ecology*. 43(5), pp. 567-577.
- Borghetti, F.; Andrade, L.A.Z.; Schmidt, I.B.; y Barbosa, E.R.M. (2019). "Seed germination and seedling recruitment of *Dimorphandra mollis* Benth. in a Neotropical savanna subjected to prescribed fires". *Folia Geobot.* pp. 1–9.
- Bravo, S.; Kunst, C.; Grau, R. y Aráoz, E. (2010). "Fire-rainfall relationships in Argentine Chaco savannas". *Journal of Arid Environments*. 74(10), pp. 1319–1323.
- Bravo, S.; Kunst, C.; Leiva, M., y Ledesma, R. (2014). "Response of hardwood tree regeneration to surface fires, western Chaco region, Argentina". *Forest Ecology and Management*. (326), pp. 36–45.
- Bravo, S.; Abdala, R.; Del Corro, F.; Ibáñez-Moro, V.; Santacruz-García, A. C.; Loto, D. y Ojeda, F. (2018). "Regeneración en especies de leñosas nativas del Chaco de Argentina y su respuesta a disturbios". En: Giménez A. y Bolzón de Muñiz, G. (Ed.) *Los Bosques y el Futuro: Consolidando un Vínculo Permanente en Educación Forestal* (Cap.10: 127-150). Ed. UFPR Brasil, CAPES, SPU, UNSE,.
- Bravo, S.J.; Basualdo, M.; Kunst, C. y del Corro, F. (2019). "Aerial Bud Bank and Structural Changes of Woody Species from Argentine Chaco in Response to Disturbances". *Journal of Environmental Science and Engineering A*. 8(2), pp. 58–69.
- Casillo J.; Kunst, C. y M Semmartin (2012). "Effects of fire

- and water availability on the emergence and recruitment of grasses, forbs and woody species in a semiarid Chaco savanna". *Austral Ecology*. 37(4), pp. 452-459.
- Coria, R. D., Kunst, C. y Bravo, S. J. (2021). "Un aporte al entendimiento de la lignificación de los pastizales/sabanas del Chaco Semiárido sudamericano". *Ecología Austral*. (31), pp. 456-474.
- Cornelissen, J. H. C.; Lavorel, S.; Garnier, E.; Díaz, S.; Buchmann, N.; Gurvich, D. E.; Reich, P. B.; Steege, H. ter; Morgan, H. D.; Heijden, M. G. A. van der; Pausas, J. G. y Poorter, H. (2003). "A handbook of protocols for standardised and easy measurement of plant functional traits worldwide". *Australian Journal of Botany*. 51(4), p. 335.
- Del Corro, F. (en ejecución) *Comunidades leñosas nativas frente a disturbios antrópicos: un enfoque funcional en el Chaco Semiárido, Argentina. Tesis doctoral en ejecución*. Doctorado en Ciencias Forestales. Facultad de Ciencias Forestales; Universidad Nacional de Santiago del Estero. Director: Dra. Sandra Bravo.
- Fernández, P.; Baumann, M.; Baldi, G.; Banegas, N.; Bravo, S.; Gasparri, I.; Lucherini, M.; Marinaro, S.; Nanni, S.; Nasca, J. A.; Tessi, T.; Grau, R. (2019). "Grasslands and Open Savannas of the Dry Chaco". *Encyclopedia of the World's Biomes*. pp. 562-576.
- Grossnickle, S. (2012). "Why seedlings survive: influence of plant attributes". *New Forests*. (43), pp. 711-738.
- Gurvich, D. E., Enrico L. y Cingolani A. M. (2005). "Linking plant functional traits with post-fire sprouting vigour in woody species in central Argentina". *Austral Ecology*. (30), pp. 789-796.
- Ibáñez Moro, A. V., Bravo, S. J., Abdala, N. R., Borghetti, F., Chaib, A. M. y Galetto, L. (2021). "Heat shock effects on germination and seed survival of five woody species from the Chaco region". *Flora*. (275). Article 151751
- Ibáñez Moro, A. V. (en ejecución). *Efecto del fuego en el Banco de semillas del suelo de especies leñosas nativas del Chaco*

- semiárido de Argentina*. Tesis Doctoral en ejecución. Doctorado en Ciencias Agrarias y Forestales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad Nacional de La Plata. Director: Dra. Sandra Bravo.
- Jaureguiberry, P.; Bertone, G. y Díaz, S. (2011). "Device for the standard measurement of shoot flammability in the field". *Austral Ecology*. (36), pp. 821–829.
- Jaureguiberry, P. y Díaz, S. (2015). "Post-burning regeneration of the Chaco seasonally dry forest: germination response of dominant species to experimental heat shock". *Oecologia*. 177(3), pp. 689–99.
- Kunst, C.; Ledesma, R.; Bravo, S.; Albanesi, A.; Anríquez, A.; H. van Meer y Godoy, J. (2012). "Disrupting woody steady states in the Chaco region (Argentina): Responses to combined disturbance treatments". *Journal Ecological Engineering*. (42), pp. 42-53.
- Kunst, C.; Bravo, S.; Navall, M.; Anríquez, A.; Coria, D.; Silberman, J. y Albanesi, A. (2014). "Ecology and Management of the Dry Forests and Savannas of the western Chaco region". In Francis Elliott Greer (Ed.) *Dry Forests: Ecology, Species Diversity and Sustainable Management* (pp. 291–296). United States of America: NOVA Publishers.
- Landi, M.A.; Di Bella, C.M.; Bravo, S.J. y Bellis, L. M. (2020). "Structural resistance and functional resilience of the Chaco forest to wildland fires: an approach with MODIS time series". *Austral Ecology*. (46), pp. 277-289.
- Ledesma, R.; Kunst, C.; Bravo, S.; Leiva, M.; Lorea, L.; Godoy, J., y Navarrete, V. (2018). "Developing a prescription for brush control in the Chaco region, effects of combined treatments on the canopy of three native shrub species". *Arid Land Research and Management*. 32(3), pp. 351–366.
- Lipoma, M.L.; Funes G. y Díaz S. (2017). "Fire effects on the soil seed bank and post-fire resilience of a semi-arid shrubland in central Argentina". *Austral Ecology*. (43), pp. 46–55.
- Lipoma, M.L.; Fortunato V.; Enrico L. ; Díaz S. y Bullock J.M. (2020). "Where does the forest come back from? Soil and

- litter seed banks and the juvenile bank as sources of vegetation resilience in a semiarid Neotropical forest". *Journal of Vegetation Science*. 31(6), pp. 1017-1027.
- Loto, D.E.; Gasparri, I.; Azcona, M.; García, S. y Spagarino, C. (2018). "Estructura y dinámica de bosques de palo santo en el Chaco Seco". *Ecología Austral*. (28), pp. 64-73.
- Loto, D. y Bravo, S. (2020). "Species composition, structure, and functional traits in Argentine forests under two different disturbance histories". *Ecological Indicators*. (113) Article 106232
- Loto, D. (2021). *Ciclo de carbono en biomasa de bosque con relación al régimen de disturbios en el Chaco Seco Argentino*. Tesis de doctorado. Facultad de Cs. Forestales. Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Ludwig, J.A. y Reynolds, J.F. (1988). *Statistical Ecology: A Primer in Methods and Computing*. John Wiley & Sons.
- Nishar A; Bader MK-F; O’Gorman EJ; Deng J; Breen B. y Leuzinger S. (2017). "Temperature Effects on Biomass and Regeneration of Vegetation in a Geothermal Area". *Front. Plant Sci*. 8(249), pp. 1-11.
- Ocampo-Zuleta, K. y Bravo, S. (2019). "Recruitment of woody species in tropical forests exposed to wildlandfires: an overview". *Ecosistemas*. 28(1), pp. 106-117.
- Pérez-Harguindeguy, N.; Díaz, S.; Garnier, E.; Lavorel, S.; Poorter, H.; Jaureguiberry, P.; Bret-Harte, M. S.; Cornwell, W. K.; Craine, J. M.; Gurvich, D. E.; Urcelay, C.; Veneklaas, E. J.; Reich, P. B.; Poorter, L.; Wright, I. J.; Ray, P.; Enrico, L.; Pausas, J. G.; De Vos, A. C.; ... Cornelissen, J. H. C. (2013). "New handbook for standardised measurement of plant functional traits worldwide". *Australian Journal of Botany*. 61(3), pp. 167-234.
- Santacruz-García, A. C.; Bravo, S.; del Corro, F. y Ojeda, F. (2019). "A comparative assessment of plant flammability through a functional approach: The case of woody species from Argentine Chaco region". *Austral Ecology*. 44(8), pp. 1416-1429.

Santacruz-García, A. C. (2020). *Impacto del fuego en la defensa de las plantas: Rasgos funcionales y síntesis de metabolitos secundarios en especies leñosas del Chaco semiárido de Argentina*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional de La Plata.

Santacruz-García, A. C.; Bravo, S.; Del Corro, F.; García, E. M.; Molina-Terrén, D. M. y Nazareno, M. A. (2021). "How do plants respond biochemically to fire? The role of photosynthetic pigments and secondary metabolites in the post-fire resprouting response". *Forests*. 12(1), pp. 1–20.

Tálamo, A.; Barchuk, A. H.; Garibaldi, L. A.; Trucco, C. E.; Cardozo, S. y Mohr, F. (2015). "Disentangling the effects of shrubs and herbivores on tree regeneration in a dry Chaco forest (Argentina)". *Oecologia*. 178(3), pp. 847–854.

Torrella, S. A.; Ginzburg R. y Galetto L. (2015). "Forest fragmentation in the Argentine Chaco: recruitment and population patterns of dominant tree species". *Plant Ecology*. (216), pp. 1499–1510.



## EVALUACIÓN DE ESPECIES FORESTALES MEJORADAS GENÉTICAMENTE CON FINES DENDROENERGÉTICOS

MARTA ROSALÍA GULOTTA<sup>1</sup>; AMELIA NANCY GIANNUZZO<sup>2</sup>;  
MARÍA ELENA CARRANZA<sup>3</sup>; ROCÍO CARRERAS<sup>4</sup>; FELIPE CISNEROS<sup>5</sup>;  
FANY PATRICIA CORONEL<sup>6</sup>; MYRIAM ETHEL LUDUEÑA<sup>7</sup>

### Resumen

En Argentina, existe una gran demanda de biomasa vegetal para satisfacer necesidades de energía para el consumo doméstico de pequeños productores y emprendimientos rurales, urbanos y periurbanos.

En ese sentido, el establecimiento de plantaciones forestales de corta rotación con fines energéticos o plantaciones dendroenergéticas es una de las estrategias empleadas para la producción de dendrocombustibles y actualmente es una de las más prometedoras. Sin embargo, para favorecer una pro-

1 FCF-UNSE, Ing. Forestal, Esp. En Biotecnología Vegetal (Dir.).

2 FCF-UNSE, Dra. en Ciencias Biológicas (Codir).

3 FCF-UNSE, Ing. en Industrias Forestales.

4 FCF-UNSE, Ing. Forestal.

5 FCF-UNSE, Ing. Forestal.

6 FCF-UNSE, Ing. Forestal.

7 FCF-UNSE, Ing. en Industrias Forestales.



ducción eficiente de bioenergía derivada de plantaciones, se requiere el desarrollo de material genético apropiado para las condiciones de Santiago del Estero.

El *Eucalyptus camaldulensis* (eucalipto rojo) es una de las especies más utilizadas en el mundo para la generación de energía, ya que proporciona carbón y leña de buena calidad y tiene un poder calorífico superior de aproximadamente 19.600 KJ/kg (4.680 kcal/kg).

Por otra parte, la especie nativa *Prosopis alba* (algarrobo blanco) genera grandes cantidades de biomasa y su madera es un buen combustible.

En consecuencia, se inicia un programa de mejoramiento con fines dendroenergéticos para determinar el material genético más adecuado para la Región Chaqueña. Para esto, actualmente se realiza la evaluación de los ensayos instalados por la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero en conjunto con otras instituciones del medio provincial y nacional para la producción de semillas de calidad genética de ambas especies y la instalación de plantaciones dendroenergéticas con material genético seleccionado. Estos ensayos permitirán conocer la variación genética existente, la adaptación al medio y la selección de genotipos mejorados para el uso con fines dendroenergéticos. Disponer de semillas de calidad podría incrementar los rendimientos, diversificar la producción y disminuir el riesgo de inversión, brindando la base necesaria para promover la instalación de plantaciones energéticas en la región.

Palabras clave: Mejoramiento genético, bioenergía, *Eucalyptus camaldulensis*, *Prosopis alba*

## Abstract

In Argentina, there is a great demand for plant biomass to satisfy energy needs for domestic consumption by small producers and rural, urban and peri-urban enterprises.

In this sense, the establishment of short-rotation forest plantations for energy purposes or wood-energy plantations is one of the strategies used for the production of wood-fuels and is currently one of the most promising. However, to promote efficient production of bioenergy derived from plantations, the development of genetic material appropriate for the conditions of Santiago del Estero is required.

*Eucalyptus camaldulensis* is one of the most used species in the world for power generation since it provides good quality charcoal and firewood, it has a higher calorific value of approximately 19,600 KJ / kg (4,680 kcal/kg).

On the other hand, the native species *Prosopis alba* generates large amounts of biomass and its wood is a good fuel.

Consequently, a wood-energy improvement program is started to determine the most suitable genetic material for the Region Chaqueña. The evaluation of the tests installed by the Faculty of Forest Sciences of the National University of Santiago del Estero is currently being carried out in conjunction with other institutions of the provincial and national environment for the production of seeds of genetic quality of both species, and the installation of wood-energy plantations with selected genetic material. These tests will make it possible to know the existing genetic variation, the adaptation to the environment and the selection of improved genotypes for use with wood energy purposes. Having quality seeds could increase yields, diversify production and reduce investment risk, providing the necessary basis to promote the installation of energy plantations in the region.

Keywords: Genetic improvement, bioenergy, *Eucalyptus camaldulensis*, *Prosopis alba*

## Introducción

La dendroenergía, definida como la energía derivada directa o indirectamente de la biomasa leñosa, es la principal fuente de energía para más de 2 mil millones de personas, especialmente en los hogares de los países en desarrollo, según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009). Según lo menciona Earl (1975), representa una de las formas más eficientes de obtener energía sin pasar por el proceso de fosilización. Se trata de una alternativa frente a la actual crisis energética y el cambio climático asociados al uso desmesurado de los combustibles fósiles, entre otras actividades antrópicas.

En Argentina, existe una gran demanda de biomasa vegetal para satisfacer necesidades de energía relacionada al consumo doméstico de pequeños productores y emprendimientos rurales, urbanos y periurbanos como producción de ladrillos y panificados, secaderos de yerba y té, además de otras industrias como la siderúrgica, alimentaria, entre otras.

Respecto a la producción de carbón vegetal en la República Argentina, esta se basa totalmente en maderas de especies latifoliadas provenientes de un 88% de bosques nativos y un 12% de bosques de cultivo, aproximadamente. Algunas de las maderas utilizadas son quebracho blanco y colorado, caldén y algarrobo, entre otras nativas, y eucalipto entre las cultivadas, según la Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable (SRNyDS, 2011).

Con relación a la Región Chaqueña, más del 60% de la producción de carbón vegetal se hace a escala familiar o de pequeña producción, con grupos de 1 a 3 hornos tipo media

aranja. El horno media naranja, usado especialmente en el Noroeste argentino, está construido con ladrillos y barro, es semiesférico y su diámetro varía de 5 a 7,5 m, aunque pueden ser más pequeños. Son los más difundidos para la elaboración artesanal de carbón vegetal, aunque presentan la limitación de producir carbón de baja calidad y escaso rendimiento. Se estima que la producción registrada de carbón en Santiago del Estero es de alrededor de 100.000 t anuales, y genera empleo directo y permanente para 900 personas (De Bedia *et al.*, 2016).

Por otra parte, estudios realizados señalan que los bosques nativos se encuentran sometidos a un proceso acelerado de pérdida de su aptitud forestal. La pérdida del mismo en el periodo 2007-2018 se localizó principalmente en la región del Parque Chaqueño, con un valor cercano al 87% (Mónaco, M. H., 2020).

En este sentido, las plantaciones dendroenergéticas constituyen una de las estrategias empleadas para la producción de dendrocombustibles, y actualmente es una de las más prometedoras, puesto que interesa obtener la mayor cantidad de energía por hectárea en el menor tiempo posible (FAO, 2001). Se trata de un cultivo leñoso sostenible que puede presentar características como: alta densidad de plantas, rotaciones de sucesivas cortas que dependen de la especie utilizada, su tasa de crecimiento y de las condiciones edafoclimáticas, entre otras; también se caracteriza por el rápido crecimiento inicial y el elevado poder calorífico de las especies ocupadas (Ander Führen Flores, 2013). Según Faaij (1997, citado por van den Broek *et al.*, 2000), la contribución potencial de estas plantaciones a la biomasa a escala mundial está estimada entre 94 y 280 EJ/año, lo que representaría entre el 14% y 50% del total de consumo energético mundial.

Este tipo de producción puede traer consigo grandes ventajas (Córdoba, 1986), entre las cuales se mencionan la continuidad de un abastecimiento a bajo costo, la disponibilidad del

recurso energético a distancias no limitantes, una mayor independencia ante situaciones prevaecientes en el mercado y su contribución a disminuir la sobreexplotación y la degradación de los bosques nativos.

En la actividad forestal, el mejoramiento genético cumple un rol fundamental, pues contribuye a la optimización de recursos y al incremento de la productividad. Como se muestra en la Figura 1, para favorecer una producción eficiente se requiere el desarrollo de material genético apropiado para las condiciones de plantación locales, que garantice la provisión de biomasa de calidad y que sean cercanas a los lugares de producción de energía para disminuir los costos de transporte.

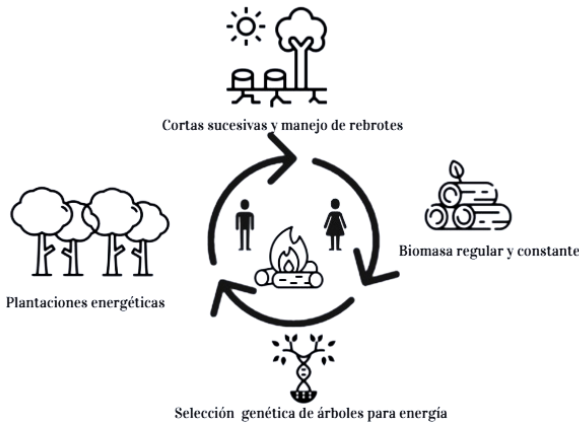


Figura 1. Para un abastecimiento continuo de dendroenergía es necesario desarrollar un sistema como el que se esquematiza, en el que se contemple la selección genética de árboles para este fin y el establecimiento y aprovechamiento de plantaciones energéticas.

Fuente: elaboración propia.

En relación a lo expuesto hasta aquí, en un esfuerzo entre instituciones nacionales y provinciales (INTA, UNC, UCSE) al que se

suma la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, se realizan desde el año 2005 diversas actividades para la evaluación de la variación genética de las especies forestales de mayor importancia para la región como lo son el algarrobo blanco (*Prosopis alba*) y el eucalipto colorado (*Eucalyptus camaldulensis*). A través de diversos proyectos de investigación y transferencia, se realizaron acciones orientadas a aumentar la producción forestal de estas especies, instalando ensayos genéticos en diferentes sitios y seleccionando árboles con desempeño superior para usos múltiples (López, 2005; Carreras *et al.*, 2016, Cisneros *et al.*, 2017). Como resultado de estas actividades, la región cuenta con material genético seleccionado en consideración con fines madereros y árboles productores de semilla de calidad superior.

En particular, desde el año 2015 estos ensayos son analizados para seleccionar genotipos superiores para fines energéticos. Disponer de semillas de calidad para este fin permitiría promover la instalación de plantaciones dendroenergéticas en la región, para así incrementar los rendimientos y disminuir el riesgo de inversión

En el Informe Técnico Final de la FAO (Wisdom Argentina, 2009) mencionan que en los últimos años se ha dado importancia a la bioenergía y al mercado energético debido al crecimiento del consumo de la bioenergía, como así también a la competencia por las materias primas para alimentos y energía. Al respecto, la interdisciplinariedad es uno de los aspectos clave en la resolución de estos conflictos, que requieren conocimientos de silvicultura y gestión forestal, química, ingeniería y gestión ambiental, entre otras.

Actualmente, un equipo de trabajo interdisciplinario integrado por docentes y colaboradores de las áreas de Mejora Forestal, Fisiología Vegetal, Ecología, Química de la Madera y Energía de Biomasa trabaja en el marco del Proyecto de investigación "Evaluación de especies forestales mejora-

das genéticamente con fines dendroenergético” aprobado y financiado por la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE. El equipo se ha planteado los siguientes objetivos:

#### Objetivo general

Evaluar materiales mejorados genéticamente de *Prosopis alba* y *Eucalyptus camaldulensis*, con el fin de obtener germoplasma de calidad genética para plantaciones dendroenergéticas.

#### Objetivos específicos

- Evaluar ensayos de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis alba* en altura, diámetro y número de fustes.
- Ensayar el material genético de *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis alba* con potencial dendroenergético con distintas densidades de plantación y en distintos sitios de la provincia de Santiago del Estero.
- Determinar la biomasa forestal y el cálculo de carbono en individuos seleccionados de *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis alba*.
- Caracterizar química y energéticamente la biomasa proveniente de las distintas partes del árbol (fuste, ramas primarias y secundarias) de *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis alba*.

#### Antecedentes

En la ecorregión chaqueña, el mayor uso que se le ha dado a la madera es como combustible. Antiguamente, se la utilizaba para las locomotoras a vapor, hornos y calderas industriales y en minería. Actualmente, en áreas rurales todavía se la utiliza en cocinas y calefactores.

Según el Programa Nacional de Estadística Forestal (SRN-yDS, 2018), el 81% de la madera total extraída del bosque na-

tivo en el país tiene como fin su uso energético ya sea como leña o carbón. Ese año se extrajeron 1.095.438 t de leña y se produjeron 1.986.605 t de carbón. Chaco y Santiago del Estero son las provincias que se destacan en este aspecto y se caracterizan por realizar el trabajo a escala familiar en un 60% (De Bedia *et al.*, 2016).

Sin embargo, la biomasa obtenida de especies nativas tiene entre sus características su baja densidad, dispersión espacial y carácter estacional, lo que provoca incertidumbre en cuanto a su abastecimiento y, además, ocasiona muchas veces costos de recogida, transporte, almacenamiento y manipulación demasiado altos. Las plantaciones dendroenergéticas, justamente, constituyen una alternativa a esta problemática por presentar retornos de inversión de mayor liquidez, debido a que permiten utilizar suelos no aptos para la agricultura (Grigoletti, 2003; Mochiutti, 2007), aseguran una provisión continua de biomasa de mejor calidad y disminuyen la presión sobre los bosques nativos.

En las plantaciones dendroenergéticas se cosecha a partir de fustes individuales como primer aprovechamiento y, posteriormente, a través del manejo de los rebrotes (Sixto *et al.*, 2007). La densidad de plantación es variable, por ejemplo, hay modelos norteamericanos y europeos que estiman de 1.100 a 8.000 plantas por ha (Salvia, 2008), pero otros autores registran densidades por sobre las 10.000 plantas por ha (Bullard *et al.*, 2002). Se espera, además, que los turnos de corta duración estimulen una mayor cantidad y calidad de rebrotes (Wirthensohn y Sedgley, 1998), lo que disminuiría los costos de establecimiento de plantaciones al aprovecharse el mismo árbol en cortas sucesivas. Sin embargo, es importante destacar que la capacidad de rebrote depende de múltiples factores, entre los que se encuentran el manejo silvicultural, la edad de corta y, especialmente, la componente genética de la especie (Ramírez y Schlatter, 1998).



Por otra parte, la región cuenta con amplias superficies ociosas potencialmente aptas para la generación de este tipo de plantaciones y el Estado nacional promueve su instalación mediante aportes económicos no reintegrables y beneficios fiscales a través de la Ley N° 25.080 de Inversiones para Bosques Cultivados. Las especies incluidas en este programa de fomento son el *Eucalyptus camaldulensis* y los *Prosopis sp.* para la Región Chaqueña.

Si bien no existen en la región antecedentes en el desarrollo de plantaciones con fines energéticos, según el documento técnico de la FAO (2020) donde se evalúa el potencial de desarrollo de plantaciones dendroenergéticas en la Argentina, el *Eucalyptus camaldulensis* podría utilizarse con estos fines en Formosa y Chaco, en sitios de calidad media a baja, con una densidad de plantación de 1.111 plantas/ha y un ciclo productivo de 24 años (tres ciclos de corta cada ocho años), con un rendimiento de 86 t/ha de biomasa seca.

Una de las formas de conocer las características energéticas de las maderas es por la determinación de su poder calorífico, humedad, contenido de volátiles y gases, residuo inorgánico, cenizas y cálculo de carbono fijo. El carbono fijo es una medida para la determinación de la calidad del carbón vegetal. Generalmente se la toma como la diferencia porcentual del contenido de gases volátiles, contenido de humedad y contenido de cenizas. Un valor alto significa un carbón vegetal de buena calidad (por ejemplo: 82% CF).

En consecuencia, surge el interés de evaluar y caracterizar, desde el punto de vista genético y energético, diferentes materiales de *Eucalyptus* y *Prosopis* con el fin de generar energía a través de plantaciones forestales en la provincia de Santiago del Estero con potencial de aplicación en la Región Chaqueña.

Por lo dicho anteriormente, es importante considerar los antecedentes de investigación y desarrollo tecnológico generados por el equipo de trabajo de este proyecto vinculados al

*Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis alba*.

El *Eucalyptus camaldulensis* o eucalipto rojo o colorado es una especie con características silviculturales y propiedades tecnológicas de su madera potencialmente adecuadas para el cultivo de bosques con fines industriales en distintas regiones del país (Golfari, 1985). Es la especie del género *Eucalyptus* que tiene el área de dispersión más amplia en Australia y abarca una gran variedad de ambientes, con lo que demuestra su gran plasticidad y adaptación. Se lo utiliza para construcción en general, ya que el duramen rojizo es moderadamente fuerte, duradero y resistente a termitas. Se emplea principalmente en la fabricación de postes, durmientes, tableros, pisos, encofrados y es apto para la fabricación de pulpa y papel. Su madera, cuando está completamente seca al aire, proporciona carbón y leña de buena calidad ("seca al aire" se refiere, según Coronel (1994) entre 12% y 17% a temperatura ambiente en Santiago del Estero, es decir, que fue estacionada con el propósito de alcanzar el contenido de humedad esperado, tanto si se la dejó en un secadero artificial como si se la dejó en el ambiente, protegida de la lluvia, durante un período más o menos largo). Según Sánchez Acosta y Sepiarsky (2008), tiene un poder calorífico superior de aproximadamente 19.600 KJ/kg (4.680 kcal/kg).

En el año 1996, se instaló un ensayo de esta especie en el Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA), perteneciente a la Universidad Nacional de Santiago del Estero y localizado en El Zanjón, dpto. Capital, Santiago del Estero. Este ensayo se estableció con 110 grupos genéticos pertenecientes a 14 procedencias australianas y 1 sudafricana (López, 2005).

Los principales resultados obtenidos a partir de este ensayo son:

- López (2005) recomienda para la Región Chaqueña, por su desempeño en volumen y capacidad de supervivencia, el material originario de Gibb River, Australia (16 m<sup>3</sup>/ha\*año) y para em-

prendimientos productivos de pequeña y mediana envergadura en Santiago del Estero el material proveniente del huerto semillero de Zimbabwe (27,1 m<sup>3</sup>/ha\*año) a los 8 años de edad.

- Ludueña *et al.* (2019) indican que los materiales ensayados presentan muy buenas características energéticas, con un poder calorífico superior de 4820 kcal/kg.

- Cisneros *et al.* (2017), a partir de estudios de ADN de hoja, determinaron que el ensayo posee una estructuración genética en 6 poblaciones diferentes. Por otra parte, a partir de caracterizaciones químicas de la madera determinaron que las muestras contenían un promedio de un 42,9% de celulosa, 33,4% de lignina total y una muy buena aptitud para usos dendroenergéticos en comparación con las otras especies de *Eucalyptus*.

Por su parte, *Prosopis alba* o algarrobo blanco es un árbol que alcanza entre 9 y 12 m en altura, 1 m de diámetro y es la especie más utilizada en plantaciones forestales en Santiago del Estero, Chaco y Formosa (Unidad para el Cambio Rural, UCAR, 2014).

Esta especie nativa del centro y norte de Argentina y todo el Parque Chaqueño es considerada como un árbol multipropósito (Verzino y Joseau, 2012; Galera, 2000). Entre los beneficios que brinda pueden citarse: resistencia a la sequía, fijación de nitrógeno atmosférico y frutos de valor proteico que son un complemento en la dieta del ganado. También se utiliza en la alimentación humana.

La madera de algarrobo tiene como usos principales la fabricación de aberturas, muebles, pisos, artesanías y la producción de leña y carbón (Galera, 2000). Por su poder calórico, la leña y el carbón, 4.200 kcal/kg y 6500 kcal/kg respectivamente, son considerados buenos combustibles, con una eficiencia de 4 t a 5 t de leña transformable en 1 t de carbón.

Otra característica propia del algarrobo es la bifurcación del tronco por debajo de los 1,30 m, lo que origina frecuentemente de 2 a 11 fustes. Hasta el momento la silvicultura y el me-

joramiento genético de la especie han estado orientados a la obtención de individuos con un solo fuste recto y de diámetros superiores para su uso en aserrío. Si el objetivo es la producción de biomasa probablemente el nuevo objetivo será la selección de individuos con muchos fustes de dimensiones menores.

La especie posee una amplia variabilidad genética que puede ser aprovechada para llevar adelante programas de mejora dirigidos, no solo a la producción de madera de alta calidad, sino también a la producción de leña, carbón, forraje o resistencia a diferentes factores de estrés, de alto interés en la recuperación de zonas áridas y semiáridas (Bessega *et al.* 2016, Salto, 2011; Verga *et al.*, 2009).

En este marco y con el objetivo de producir semillas de calidad genética mejorada para distintos fines, la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE instaló en el año 2008 un ensayo genético de algarrobo blanco en la localidad de Santa María, departamento Capital, Santiago del Estero. Este ensayo consta de materiales genéticos de toda la zona de distribución natural de la especie, agrupados en 10 orígenes diferentes.

Con base en estudios realizados sobre este ensayo, se pueden destacar los siguientes resultados:

- Se identificaron los orígenes Santiago Sur y Salta Oeste con altos contenidos de taninos en la materia seca (Carreras, 2015). Dado que el tanino tiene la capacidad de aumentar el poder calorífico en la madera, estos resultados son alentadores para una selección con fines dendroenergéticos.
- Los materiales provenientes de Salta, Formosa y Chaco presentaron en promedio entre tres y cinco fustes, y se comprobó, además, que este carácter está asociado genéticamente al crecimiento en altura y es hereditario (Carreras *et al.*, 2016).
- Los materiales denominados en el ensayo como Salta Norte, Chaco Sur y Bermejo-Chaco-Formosa se destacan por su desarrollo tanto en altura como diámetro, y presentan diferencias

significativas en la concentración de carbono en fustes (Castillo Slawycz y Carreras, 2017). Con base en estos resultados, es posible considerar un programa de mejora para la producción de biomasa.

Con relación al comportamiento del algarrobo blanco frente a la sequía, parte de este equipo de trabajo también realizó estudios para determinar cuál es la estrategia de supervivencia de esta especie frente a esta condición climática. Estos estudios se realizaron en dos tipos de materiales biológicos:

- Plantación comercial de algarrobo blanco de 10 años de edad, con todos los individuos pertenecientes a un mismo origen con el objetivo de estudiar las respuestas al estrés hídrico a nivel especie. En este sitio se instaló un experimento manipulativo en el cual se sometieron a los árboles en evaluación a distintas condiciones de humedad. Como resultados, uno de los grandes hallazgos fue observar comportamientos relacionados a la tolerancia a la sequía por parte de los árboles (Coronel *et al.*, 2019).
- Ensayo de progenies de *Prosopis alba* de polinización abierta (con 201 familias), con el objetivo de estudiar el potencial de adaptación a la sequía de poblaciones de algarrobo blanco. Se seleccionaron tres orígenes pertenecientes a un gradiente latitudinal del régimen de precipitaciones contrastantes. De cada origen se estudiaron 6 familias. Los resultados están próximos a ser publicados.

Por otra parte, en el Laboratorio de Química de la Madera del Instituto de Tecnología de la Madera perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales (ITM-FCF), se realizó el estudio de la composición química de la madera del algarrobo blanco (Besold *et al.*, 1988). La madera es un biopolímero tridimensional cuya composición química general está formada por compuestos esenciales o primarios: holocelulosa (celulosa y hemicelulosa) y lignina, y compuestos extraños o secunda-

rios: extractos (en agua, en solventes) y compuestos inorgánicos. En este estudio se determinaron valores de lignina, hemicelulosa, extractivos y cenizas, así como las solubilidades en distintos solventes.

Teniendo en cuenta que el poder calorífico superior (PCS) de la leña de algarrobo blanco (*Prosopis alba*) es de 4600 kcal/kg y que se incrementa al ser transformado a carbón vegetal (7200 kcal/kg), se esperaría que la leña de eucalipto colorado (*Eucalyptus camaldulensis*), 4820 kcal/kg, aumente su PCS, tal como el valor obtenido por González Giménez (1990) de aproximadamente 7000 (kcal/kg). Es por esto que estas especies son recomendadas para plantaciones dendroenergéticas a pequeña escala en la región. Aún no hay experiencias en estos cultivos, sin embargo, existe material genético seleccionado, delimitación de zonas aptas para su desarrollo, análisis de rentabilidad y estudios de impacto ambiental, los que permiten considerar su posibilidad como alternativa al aprovechamiento forestal del bosque nativo.

## Metodología

Para el cumplimiento de los objetivos planteados, se han propuesto una serie de actividades basadas en metodologías que se describirán brevemente a continuación, así como también los avances logrados hasta el momento para alguna de ellas.

### 1. Raleo y mantenimiento de ensayos genéticos

El proyecto cuenta con ensayos ya instalados para su evaluación y publicación de los resultados. Los experimentos ensayan:

- *Eucalyptus camaldulensis*: ensayo de procedencias y 110 familias de progenies de polinización abierta ubicado en el Instituto de Silvicultura y Manejo de Bosques (INSIMA), El Zanjón, dpto. Capital, Santiago del Estero (Figura 2). Posee un diseño

de bloques de familias compactas con procedencias en parcelas y progenies en subparcelas, con 4 repeticiones y parcelas lineales de 5 árboles. Los tratamientos y la bordura perimetral, con un distanciamiento de 3x2 m, ocupan la superficie aproximada de 1.4 ha. Fecha de implantación: enero de 1996.

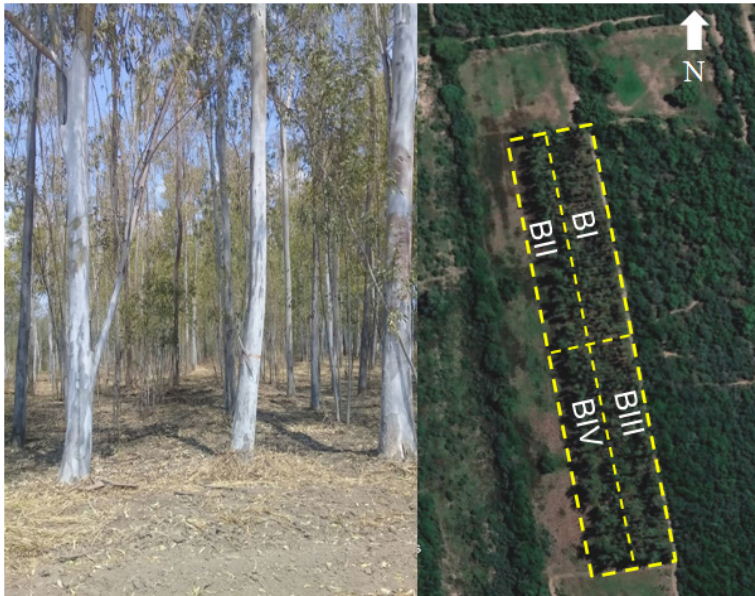


Figura 2. Vista del ensayo de *E. camaldulensis* establecido en el INSIMA. A la izquierda foto de los árboles a los 20 años de edad y a la derecha la representación esquemática del diseño experimental sobre imagen satelital del año 2021 obtenida de Google Earth.

- *Prosopis alba*: ensayo genético donde se prueban 10 orígenes (poblaciones naturales) y 201 familias de polinización abierta. Posee un diseño de bloques completos al azar en parcelas de árbol individual (single tree plot) no contiguas con 15 repeticiones (individuos) por familia dispuestos en parcelas de

una planta con bordura perimetral simple que totalizan 3015 plantas. El distanciamiento es de 4 m x 4 m y la bordura perimetral es simple. Fue instalado en 2008 en Santa María, dpto. Capital, Santiago del Estero (Figura 3).

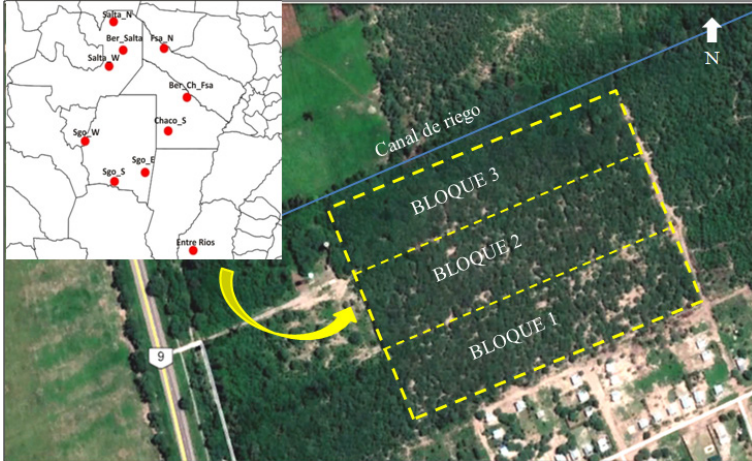


Figura 3. Representación esquemática del ensayo genético de *P. alba* establecido en Santa María, Santiago del Estero. Arriba a la izquierda se muestra la localización de las 10 poblaciones naturales (representadas con círculos), de las que se obtuvieron semillas para la instalación del ensayo. A la derecha se muestra el diseño experimental del ensayo sobre imagen satelital del año 2021 obtenida de Google Earth.

Esta actividad consistirá en realizar la eliminación de los materiales de mala calidad genética y la conservación de los mejores árboles para su cruzamiento y cosecha de semilla (Zobel et al., 1994). Para esto, con base en los estudios realizados por López (2005), Carreras et al. (2016) y Cisneros et al. (2017), se elaborará un ranking de los mejores árboles para caracteres dendroenergéticos mediante la construcción de un Índice de Selección Multivariado (Hazel, 1943).



Por otra parte, para favorecer la producción de semillas de calidad, en cantidad y de manera continua, es necesario realizar tareas silviculturales en el ensayo, tales como la eliminación de los árboles en pie muertos, el tratamiento de los árboles enfermos, el desmalezado del ensayo y el manejo de los rebrotes de manera que queden uno o dos fustes para continuar el crecimiento y favorecer la polinización entre individuos de mejor desempeño.

## 2. Evaluación la biomasa forestal y el cálculo de carbono en individuos seleccionados de *E. camaldulensis* y *P. alba*

La producción de biomasa leñosa (madera o leña) es el rasgo más importante para escoger a los árboles que son potencialmente buenos para producir este tipo de energía renovable. Para evaluarla, se mide el diámetro en la base del árbol, el diámetro a 1,30 m, la altura total del árbol y el diámetro de la copa de cada árbol.

En la actualidad, esta actividad se continúa realizando para ambas especies instaladas en los respectivos ensayos en Santiago del Estero. Esto permitirá encontrar la fórmula que mejor se ajuste para estimar la biomasa para cada una de las especies, y con los resultados obtenidos seleccionar los árboles que produzcan la mayor cantidad de biomasa.

## 3. Caracterización química y energética de la biomasa proveniente de distintas partes del árbol (fuste, ramas primarias y secundarias) de *E. camaldulensis* y *P. alba*.

Para determinar las principales características energéticas de las maderas se deben considerar las variables físicas y químicas que las definen. Las características químicas que más influyen en su comportamiento como biocombustible son la composición química elemental, la composición química por

compuestos y el poder calorífico (Camps y Marcos, 2008).

Otra forma de conocer la madera es descomponerla en las partes que la forman. La lignina es una sustancia que une las demás partes de la madera o material lignocelulósico. Químicamente, es un polímero amorfo, insoluble en agua. La holoceulosa es otra sustancia compuesta por celulosa, componente principal y muy abundante de la madera. La hemicelulosa es un componente secundario, también muy abundante luego de la celulosa; químicamente, se trata de homopolisacáridos y heteropolisacáridos, respectivamente. Los extractivos son compuestos que no forman parte estructural de la madera y que son fáciles de extraer; químicamente, tienen bajo peso molecular. Las cenizas son los compuestos inorgánicos que quedan como residuos luego de una combustión de la madera. Para separar cada uno de los componentes de la madera y obtener valores y solubilidades se utilizan diversos métodos. Estos procedimientos ya se han realizado para algunas especies del NOA y particularmente para la madera *Prosopis alba* Griseb. de Santiago del Estero.

Tanto para realizar los ensayos típicos en la determinación de la composición química como para conocer las propiedades energéticas de la leña o madera del eucalipto y el algarrobo blanco, es necesario conseguir muestras de su madera y realizar ensayos en laboratorio. La muestra de madera obtenida se tritura hasta obtener aserrín, según norma ASTM D 1762-84 (2007), y con ello lograr datos en los ensayos.

La caracterización química de la biomasa se realiza según las normas TAPPI, para la determinación del contenido de extractivos, holocelulosa en madera, cenizas, lignina total y solubilidad en hidróxido de sodio.

En algunos ensayos se usa la bomba calorimétrica (aparato que se utiliza para medir el desprendimiento de calor del combustible sólido -en este caso el aserrín de madera) y se determinó el poder calorífico superior (PCS) de la biomasa, se-

gún norma DIN 51.900. En otros ensayos se utiliza la estufa y la mufla, que son aparatos que llegan a temperaturas muy altas (más de 100 °C y 500 °C, respectivamente) para obtener la humedad, volátiles y cenizas, según norma ASTM D1762- 84 (2007), para luego obtener el carbono fijo.

El aserrín de madera con el que se trabaja es el obtenido de los rebrotes de árboles que han sido talados y que luego desarrollan nuevos brotes que son ramas vigorosas. En el caso de la madera de eucalipto rojo, proviene del ensayo genético establecido en el INSIMA, y en el de algarrobo blanco es el proveniente del ensayo genético establecido en Santa María, Santiago del Estero.

La caracterización se realiza en el Laboratorio de Química de la Madera y de Energía de Biomasa del ITM-FCF, UNSE.

A finales del año 2019 se obtuvieron ocho rebrotes de árboles apeados en el año 2011 del ensayo de eucalipto colorado. Se identificaron los rebrotes pertenecientes a las mejores procedencias: Gibb River, Australia y Zimbabwe, África (López, 2005), y se cortaron aquellos con diámetros de 5 a 10 cm (Figura 4). Luego, este material fue trasladado a la carpintería del ITM donde se midió diámetro de base y de punta junto a la longitud para determinar el volumen de leña (Gómez Acosta *et al.*, 2020).



Figura 4. Selección y corta de rebrotes de *E. camaldulensis* del ensayo genético establecido en el INSIMA, Santiago del Estero.

Hasta el 16 de marzo del 2020, momento a partir del cual comenzó a regir a nivel nacional el Aislamiento Social Preventivo y obligatorio (ASPO) por covid-19, se procesaron los rebrotes obtenidos para realizar su caracterización energética. Para realizarlo, se redujeron a trozos de 5 cm de diámetro por 20 cm de largo y la leña obtenida se colocó bajo techo hasta conseguir una humedad del 12%-15% (Figura 5).



Figura 5. Acondicionamiento de los rebrotes obtenidos para su caracterización energética.

#### 4. Cosecha de germoplasma de *E. camaldulensis* y *P. alba* para el abastecimiento de plantaciones dendroenergéticas

Para abastecer la producción de plantaciones dendroenergéticas, es necesaria la recolección y conservación del germoplasma de individuos con desempeño superior.

Para este fin, se seleccionarán árboles semilleros en los ensayos de eucalipto y algarrobo descritos arriba. Esta selección se realizará con base en los estudios desarrollados por López (2005), Carreras *et al.* (2016) y Cisneros *et al.* (2017). Por otra parte, se realizarán evaluaciones fenológicas con las que se determinará el momento más adecuado para la cosecha de frutos y se establecerán protocolos de conservación de la semilla obtenida.

En el año 2019, se realizó una campaña de recolección de frutos de eucalipto colorado. Su fruto es una cápsula de 5-8

mm, subgloboso u ovoide, con 3-5 valvas exertas, de hipanto leñoso, con numerosas semillas en su interior. Los óvulos fertilizados se desarrollan en seis meses, aproximadamente, o aún menos, a partir de su polinización, y la cápsula se hincha y cambia de color durante la maduración. La semilla es viable cuando las cápsulas cambian de color verde a pardo. Las cápsulas maduras son marrones y quedan generalmente cerradas durante varios meses hasta que, por el aumento de la temperatura o disminución de la humedad en el ambiente, las valvas se abren en el curso de horas o de días, expulsando la semilla junto con los óvulos no fertilizados. Estos se denominan paráfisis y por lo general son más pequeños y livianos que las semillas maduras.

Durante el período septiembre-noviembre del 2019, se realizó el seguimiento fenológico de las etapas de floración y fructificación en el ensayo de eucalipto. Los parámetros que se consideraron para la observación y consecuente selección de individuos fueron: cantidad y maduración de frutos, viabilidad para su apeo y extracción.

De los 2460 árboles presentes en el ensayo de eucalipto rojo, se eligieron catorce árboles con excelente desempeño en volumen y forma de las procedencias Gibb River, Australia y Zimbabwe, África, recomendadas por López (2005). Las observaciones se realizaron semanalmente utilizando una cámara Nikon D3100 con lente AF Zoom-NIKKOR 70-300mm f/4-5.6G.

De los individuos observados se seleccionaron cuatro árboles con abundantes frutos pertenecientes a distintos grupos genéticos y distribuidos a lo largo del ensayo. Estos árboles fueron apeados antes de que se produzca la apertura natural de los frutos, mediante la realización de corte del fuste a los dos metros de altura para favorecer su rebrote (Ganem *et al.*, 2020).

Una vez apeados los individuos, los frutos fueron recolectados de forma manual en bolsas dobles de papel por cada



árbol, y a su vez estas fueron colocadas dentro de bolsas de polietileno para facilitar el transporte. Todas las bolsas fueron identificadas con un código individual y luego trasladadas al Laboratorio de Fisiología y Mejoramiento del INSIMA donde se almacenaron cuidadosamente por el periodo de una semana para que, por pérdida de humedad, se produjera la apertura del fruto y la liberación de las semillas (Figura 6).



Figura 6. Cosecha de germoplasma de *E. camaldulensis*. A la izquierda, el fruto recolectado luego del apeo del árbol en el campo y, a la derecha, las semillas obtenidas de los mismos luego de una semana de almacenamiento en laboratorio.

Luego, para separar las semillas de los frutos y eliminar las impurezas y paráfisis, el material cosechado fue pasado por zarandas de distintos diámetros hasta obtener semillas puras,

las que fueron almacenadas en recipientes plásticos rotulados en la heladera en condiciones de oscuridad, para conservar su viabilidad.

#### 5. Instalación y evaluación de ensayos dendroenergéticos con los mejores materiales de *E. camaldulensis* y *P. alba* en diferentes sitios de Santiago del Estero

Esta actividad se vincula a la instalación de ensayos con los mejores materiales de eucalipto y algarrobo, establecidos con densidades altas (5.000 o 10.000 árboles/ha), en distintos sitios de Santiago del Estero y con tratamientos de cortas frecuentes, para evaluar su rendimiento como plantaciones dendroenergéticas.

Estos ensayos se instalarán en el campo experimental educativo San Isidro, perteneciente a la UNSE y ubicado en la localidad de Santa María, departamento Capital, Santiago del Estero. Dicho predio cuenta con una superficie de 120 ha cerradas con alambrado de cinco hilos.

Hasta el 16 de marzo de 2020, momento a partir del cual comenzó a regir a nivel nacional el ASPO por covid-19, se habían desarrollado las tareas de selección de sitio y producción de plantines de eucalipto, las cuales se describirán brevemente a continuación.

#### Selección de sitios

Para esta actividad, se analizaron los antecedentes y se visitaron plantaciones de eucalipto en la provincia, se desarrollaron reuniones con profesionales vinculados a la producción de esta especie y se analizaron diferentes sitios con potencial para la implementación de ensayos que permitan su evaluación a largo plazo.

Se realizó la recorrida por el campo experimental educativo San Isidro para determinar sitios potenciales dentro del predio



para realizar la instalación del ensayo. Como resultado de esta actividad, se seleccionó un polígono de 7 ha donde antes se habían realizado cultivos agrícolas y que, al momento de la visita, presentaba vegetación leñosa arbustiva que permitiría una fácil preparación del terreno.

### Producción de plantas

La producción de plantines se realizó en el Vivero San Martín perteneciente a la Dirección General de Bosques y Fauna de la provincia. Mediante la firma de un acta compromiso se acordó la donación de semillas de calidad genética probada por parte de la Facultad de Ciencias Forestales y la producción de plantines de eucalipto por parte del vivero. En este marco, en diciembre de 2019, se donaron 100 gramos de semillas pertenecientes a los materiales genéticos de Gibb River, Australia y Zimbabwe, África, y se solicitaron 10.000 plantines para el mes de abril del 2020.

La producción de plantines se realizó mediante siembra directa en canteros y su posterior trasplante a envases de polietileno. Se utilizó un sustrato liviano y con buen drenaje elaborado con mantillo, arena y tierra de la zona.

Luego de tres meses de vivero, los plantines fueron trasladados al vivero del INSIMA, para su rustificación y puesta a punto para plantación.

## 6. Análisis estadístico

Para evaluar las características relacionadas a la dendroenergía en ambas especies que pertenecen a los ensayos genéticos, se utiliza lo que estadísticamente se denomina Máxima Verosimilitud Restringida. Este método permite encontrar el modelo que mejor representa toda la variabilidad existente en los árboles.

Para los análisis estadísticos se utilizarán modelos mixtos

que contemplen la estructura genética jerarquizada presente en los ensayos. También se incluirá la estimación de la interacción de los materiales genéticos con el ambiente, así como la identificación de los individuos con rendimiento consistente a través de los ambientes.

#### 7. Actividades de producción científica, transferencia y difusión

La difusión de los primeros resultados se ha realizado mediante la presentación en congresos y la redacción de trabajos científicos y de capítulos de libros.

En relación con actividades de transferencia, durante la ejecución del proyecto se ha avanzado en la articulación de actividades con instituciones vinculadas al sector productivo de Santiago del Estero como la Estación Experimental Fernández, INTA Santiago del Estero, el Colegio de Graduados en Ciencias Forestales, así como con productores que trabajan con los géneros *Prosopis* y *Eucalyptus*.

Se destaca la realización de dos seminarios-taller con la participación de docentes-investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales, estudiantes avanzados y técnicos del Grupo Forestal de la Estación Experimental Agropecuaria, INTA, Santiago del Estero (Figura 7).

Además, se prevén actividades de articulación con los empresarios del sector forestoindustrial de la región, realización de charlas técnicas, jornadas de capacitación y gacetillas de difusión en soporte papel, virtual y video.

Asimismo, se planifican actividades de extensión con las comunidades que habitan las cercanías de donde se ubican los ensayos, como organización de talleres participativos y la entrega de folletos con la información pertinente.



Figura 7. Seminarios-taller desarrollados en el marco del proyecto.

### Resultados esperados

Actualmente, se cuenta con información sobre plantaciones con fines dendroenergéticos en relación a la densidad de plantación, el material genético adecuado y la edad de primer raleo. También, se cuenta con semillas de calidad genética comprobada para plantaciones con estos fines.

Además, entre los resultados que se espera alcanzar, se

destaca el logro de un ranking de materiales genéticos con un buen desempeño para plantaciones dendroenergéticas en la región.

Se planifica avanzar en relación con la articulación y el asesoramiento de los productores interesados. En este sentido, el trabajo cooperativo con otras instituciones provinciales y nacionales posibilitará influir en el diseño de políticas en relación con la obtención de energía de la biomasa.

En el marco del proyecto se forman recursos humanos a través de la realización de tesis de postgrado, de grado y Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS).

## Conclusiones

La dendroenergía, además de tratarse de un tipo de energía con demanda específica en la Región Chaqueña y en la Argentina, se presenta como una alternativa frente a la crisis energética en el contexto del cambio climático. Su estudio se presenta como un desafío interdisciplinario con múltiples aristas sobre las cuales profundizar.

Particularmente, en este proyecto se aborda la potencialidad de dos especies emblemáticas para su producción como plantaciones dendroenergéticas: el eucalipto rojo, una de las especies más utilizadas en el mundo para la generación de energía y el algarrobo blanco, la especie más utilizada en plantaciones forestales en Santiago del Estero, Chaco y Formosa.

Los avances logrados en el proyecto avizoran una alta aplicabilidad de los resultados con impacto local y nacional. El conocimiento de materiales mejorados genéticamente, considerando su adaptabilidad y su potencial dendroenergético en la provincia, la caracterización de su biomasa, así como la obtención de germoplasma de calidad, propenden a incrementar los rendimientos, diversificar la producción y disminuir el riesgo

de inversión, y así brindar la base necesaria para promover la instalación de plantaciones energéticas en la región. Además, la interacción con entidades provinciales y nacionales involucradas posibilita influir en el diseño de políticas en relación con la obtención de energía por biomasa.

## Bibliografía

- An-der Führen Flores, F. G. (2013). *Propuesta metodológica para determinar superficies para el establecimiento de plantaciones dendroenergéticas forestales utilizando un sistema de información geográfica a escala regional en Chile*. Tesis de grado. Valdivia, Chile.
- Argentina. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2020). *Causas e impactos de la deforestación de los bosques nativos de Argentina y propuestas de desarrollo alternativas*.
- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable (SRNyDS, 2017). *Series Estadísticas Forestales 2009-2015*. ISSN 1850-7174.
- SRNyDS. (2018) *Series Estadísticas Forestales*. Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Área de Estadística, Dirección de Recursos Forestales Nativos. Ciudad Autónoma de Buenos Aires, República Argentina. ISSN 1850-7174 (versión digital) - ISSN 1850-7166 (versión impresa)
- Besold, Gunter; Carranza, María E. y Giannuzzi, Gaspar (1988). «Análisis Químico de la Madera y Biomasa de Especies del Noroeste Argentino y su posible aprovechamiento industrial». VI Congreso Forestal Argentino. Santiago del Estero.
- Besega, C., Pometti, C.L., Ewens, M., Saidman, B.O. y Vilardi, J.C. (2016). "Fine-scale spatial genetic structure analysis in two Argentine populations of *Prosopis alba* (Mimosoideae) with different levels of ecological disturbance". *Eur. J. Forest Res.* 135(3), pp. 495–505.
- Bullard, M.J.; Mustill SJ y Mcmillan, S. D. (2002). "Yield improvements through modification of planting density and harvest frequency in short rotation coppice *Salix* spp. 1. Yield response in two morphologically diverse varieties". *Biomass and Bioenergy.* (22), pp.15-25.
- Camps, M., y F. Marcos (2008). *Los biocombustibles*. Madrid, España: Mundi-Prensa.

- Carreras, R.; Bessega, C.; López, C.R.; Saidman, B.O. y Juan C. Vilardi (2016). "Developing a breeding strategy for multiple trait selection in *Prosopis alba* Griseb, a native forest species of the Chaco Region in Argentina". *Forestry: An International Journal of Forest Research*. 90(2), pp. 199–210.
- Carreras, R.; García, M.; López, C. R.; Cisneros, F.; Bessega, C.; Saidman, O. B.; Vilardi, J. C. y Nazareno, M. (2015). "Cuantificación y evaluación genética de taninos en el follaje del algarrobo blanco para su aplicación forrajera". *Quipu Forestal*. 1(1), pp. 24 - 25.
- Castillo Slawycz, R. y Carreras, R. (2017). "Variación Genética en la Fijación de Carbono en Fustes de Algarrobo blanco" [Resumen aceptado]. II Congreso Internacional del Gran Chaco Americano, 5 y 6 de octubre, Santiago del Estero, Argentina.
- Cisneros, E. F; Carreras, R.; García, M.N; Villalba, P. V.; Aguirre N., Rivas, J. Martínez, M.C., Acuña, C. Ludueña, A. D.; Díaz, M.; López, J.A.; Cappa, E.; Pathauer, P.; Harrand, L.; Oberschelp, J.; Moglia, J. G.; Arévalo, C.; Elizaul, J.; Hopp, H. E.; Rodríguez, J.; Balmelli, G.; Moram, M.; Grattapaglia, D. y Marcucci Poltri, S. (2017). "Selección Acelerada De *Eucalyptus* Para Bioenergía De Los Programas de Mejoramiento Forestal del Mercosur: Proyecto Mincyt-Ue. Europeaid/136-457". Primeras Jornadas Nacionales Sobre Dendrocombustibles. 17 de agosto de 2017. Sáenz Peña, Chaco.
- Córdoba, D. (1986). La madera en la generación de energía eléctrica. *Seminario Agronomía*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín.
- Coronel, F. P; Cisneros, A. B; Cortés, F; Gulotta, M. R. y Fernández, M. E. (2019). "Respuesta de *Prosopis alba* a distinta disponibilidad hídrica generada por riego y exclusión de lluvias en plantación". *CODINOA*. (4), pp. 174-178.
- Coronel, E. O. (1994). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. 1º parte. Fundamentos de las propiedades físicas de la madera*. Santiago del Estero: Edit. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.

- De Bedia, G. R; Navall, M. y Auhad, L. (19 de agosto de 2016). "Carbón Santiagueño: Características de un mercado en crecimiento". INTA, E.E.A. Santiago del Estero, C.R. Tucumán - Santiago del Estero.
- Earl, D. E. (1975). *Forest energy and economic development*. USA: University Press.
- FAO (2001). *UWET- Unified wood energy terminology*. Wood Energy Programme. FAO. Italia: FAO Forestry Department.
- FAO (2009). *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina*. WISDOM Argentina. Informe Técnico Final. Buenos Aires.
- FAO (2020). *Potencial de desarrollo de plantaciones dendroenergéticas en la Argentina*. Colección Documentos Técnicos N° 18. Buenos Aires.
- Galera, F.M. (2000). *Los algarrobos. Las especies del género Prosopis (algarrobos) de América Latina con especial énfasis en aquellas de interés económico*. Córdoba, Argentina: Graziani Gráfica.
- Ganem, J.I; Carreras, R.; Giannuzzo, A. N. y Gulotta, M. R. (2020). "Cosecha y conservación de semillas de Eucalipto Rojo seleccionado genéticamente para dendroenergía". 3° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano. Territorio e innovación.
- Golfari, L. (1985). *Distribución regional y condiciones ecológicas de los eucaliptos cultivados en la Argentina. Problemas inherentes*. Buenos Aires: CIEF. Publicación Técnica.
- Gómez Acosta, M.; Ludueña, M. E.; Carreras, R.; Carranza, M. E. y Gulotta, M. (2020). "Leña de rebrotes de Eucaliptos mejorados genéticamente con fines dendroenergéticos". 3° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano. Territorio e innovación.
- González Giménez, R. C. (1990). *Características del carbón de dos especies de Eucalyptus*. Trabajo de tesis. Facultad de Ingeniería Agronómica. Universidad Nacional de Asunción. Paraguay.
- Grigoletti, A. (2003). "Sistema de Produção. Cultivo da Acácia



- Negra". *Ministerio da Agricultura Pecuaria e Abastecimento*. EMBRAPA Florestas Sistemas de Produção.
- López, C.R. (2005). "Mejoramiento genético en *Eucalyptus camaldulensis* y *Prosopis*". En Mejores árboles para más forestadores (pp. 183-194). Argentina: Secretaria de Agricultura Ganadería Pesca y Alimentación.
- Ludueña, M. E., Moglia, J. G., Díaz Zírpolo, J. y Figueroa, M. E. (2019). "Caracterización de las propiedades energéticas de especies forestales plantadas en el Chaco seco". En Manzano, E. (ed.) *Libro de resúmenes de las XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA* (p. 231). San Miguel de Tucumán: Universidad Nacional de Tucumán. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología.
- Mochiutti, S. (2007). *Produtividade e sustentabilidade de plantações de acácia-negra (Acacia mearnsii De Wild.) no Rio Grande do Sul*. Tesis de grado. Universidade Federal do Paraná.
- Ramírez, J. y Schlatter, J. (1998). "Análisis de variables de sitio para estimar el establecimiento en Chile de *Acacia melanoxylon*". R. Br. Bosque. (19), pp. 37-51.
- Salto, C.S. (2011). *Variación genética en progenies de polinización abierta de *Prosopis alba* Griseb. de la Región Chaqueña*. Maestría en Genética Vegetal Tesis. Área de mejoramiento genético UNR –Concordia.
- Salvia, J. (2008). *Cultivos leñosos de corta rotación*. España: Biopoplar ibérica s.l.
- Sixto, H, M.; Hernández, M; Barrio, J; Carrasco, I y Cañellas (2007). "Plantaciones del género *Populus* para la producción de biomasa con fines energéticos: revisión". *Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*. 16(3), pp 277-294.
- Sánchez Acosta, M. y Sepiarsky, F. (2008). "Eucaliptos colorados: mejoramiento genético, propiedades y usos de la madera". Serie de actividad de difusión N° 557. INIA Tacuarembó. Uruguay.
- Wisdom Argentina (2009). *Análisis del balance de energía derivada de biomasa en Argentina*. Informe técnico final. Roma:

- FAO Departamento Forestal. Dendroenergía.
- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación. Dirección de Producción Forestal. Unidad para el Cambio Rural (UCAR, 2014). *Plantaciones Forestales y Gestión Sostenible*.
- Van Den Broek, R., Van Wijk, A. y Turkenburg, W., (2000). "Farm-based versus industrial eucalyptus plantations for electricity generation in Nicaragua". *Biomass and Bioenergy*. ELSEVIER. 19(5), pp. 295-310.
- Verga, A.; López Lauenstein, D.L.; López, C.; Navall, M.; Joseau, J. y Gómez, C. (2009). "Morphological characterization of algarrobo trees (*Prosopis* sp.) from the fitogeographical regions of Chaco and northern Espinal in Argentina". *Quebracho*. (17), pp. 31-40.
- Verzino, G.; Joseau, M. J. y Coirini, R. O. (2012). *Reunión Nacional del Algarrobo*. Actas. Córdoba: Ed. Grupo Encuentro.
- Wirthensohn, M. G. and Sedgley, M., (1998). "Effect of pruning on regrowth of cut foliage stems of seventeen Eucalyptus species". *Australian journal of experimental agriculture*. (38), pp. 631-636.
- Zobel, B. y J. Talbert. (1994). *Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales*. México: Ed. UTEHA.

## GESTIÓN DE SERVICIOS ECOSISTÉMICOS EN ÁREAS FORESTALES Y OTRAS ÁREAS NATURALES. CASOS APLICADOS EN SANTIAGO DEL ESTERO

MIGUEL SARMIENTO<sup>1</sup>; GABRIELA CARDONA<sup>2</sup>; CARLOS BRUNO<sup>3</sup>;  
MARÍA SOLEDAD PINTOS<sup>4</sup>; CECILIA ZURITA BIANCHINI<sup>5</sup>;  
MATÍAS CARIGNANO<sup>6</sup>; WALTER CASSINO<sup>7</sup>; LUIZ RIBAS<sup>8</sup>;  
SAMUEL RIVERA<sup>9</sup>; JORGE GARCÍA<sup>10</sup>

- 1 Dr. Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Director del proyecto.
- 2 Dra. Ing. Forestal. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Co-directora del Proyecto.
- 3 Dr. Ing. Ftal. Egresado Postgrado Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Secretaria de Agricultura Familiar Campesina e Indígena.
- 4 Estudiante Avanzada de Licenciatura en Ecología y Conservación del Ambiente. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.
- 5 Ingeniera Forestal. Estudiante de Doctorado Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.
- 6 Ingeniero Forestal. Estudiante de Doctorado Facultad de Ciencias Forestales, UNSE. Coordinador de la Componente Arraigo del Proyecto Bosque Nativo y Comunidad, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (MAyDS).
- 7 Coordinador del Nodo Norte 2 de la Dirección Nacional de Bosques, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.
- 8 Asesor externo. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP)
- 9 Asesor externo. Utah State University. Logan, United Estados of America.
- 10 Ingeniero Forestal. Becario Doctoral del CONICET. Facultad de Ciencias Forestales, UNSE.

## Resumen

El proyecto gestión de servicios ecosistémicos en áreas forestales y otras áreas naturales permite avanzar en el conocimiento de aspectos relacionados a las percepciones de los servicios ecosistémicos que proveen los bosques nativos, así como las plantaciones en la provincia de Santiago del Estero. Para ello, se siguieron diferentes líneas de investigación denominadas ejes en los que se preguntaba a los usuarios específicamente acerca de las percepciones de diferentes tipos de servicios ecosistémicos. Por otro lado, se obtuvo el valor económico de los mismos. Se aplicó el método de valoración contingente a partir de datos obtenidos por encuestas a usuarios de los servicios ecosistémicos en esas zonas. Simultáneamente, se siguieron los mismos objetivos, pero en el área urbana con los servicios ecosistémicos generados por recolectores recicladores urbanos con especial énfasis en la zona de la ciudad capital de Santiago del Estero. Los resultados obtenidos tienen un alto potencial de uso en la planificación de los recursos naturales y en la toma de decisiones respecto a sus usos.

Palabras clave: servicios, ecosistemas, percepción, valoración, gestión

## Abstract

The project management of ecosystem services in forest areas and other natural areas aims to increase the knowledge of aspects related to the perceptions of the ecosystem services provided by native forests as well as plantations in the province of Santiago del Estero, Argentina. For these, different lines of

research called axes were studied in which users were specifically asked about the perceptions of different types of ecosystem services and their economic values. The contingent valuation method was applied based on data obtained from surveys of users of ecosystem services in those areas. Simultaneously, the same objectives were followed not only in rural areas, but in urban areas with the ecosystem services generated by urban recyclers with special emphasis on the area of the capital city of Santiago del Estero. The results obtained have a high potential for use in natural resource planning and decision-making regarding their uses.

Keywords: services, ecosystems, perception, valuation, management.

## Introducción

Este capítulo tiene como finalidad difundir a la sociedad de Santiago del Estero los resultados y avances de lo investigado en los tres años que lleva desarrollándose el proyecto *Gestión de servicios ecosistémicos en áreas forestales y otras áreas naturales* con Código 23B150. El mismo es financiado por la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) y el Consejo de Investigaciones Científicas y Técnicas (CICyT) y cuenta con una duración que va desde enero del 2018 hasta diciembre de 2021.

El objetivo general del proyecto es generar acciones para promover la gestión sostenible en la producción forestal y conservación de servicios ecosistémicos de bosques en Santiago del Estero en áreas naturales, entre las que también se encuentran las periurbanas.

El equipo está integrado por investigadores, becarios y estudiantes de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF). También

lo componen ingenieros forestales egresados de la UNSE que desempeñan actividades en el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (MAyDS) y cuenta además con un asesor externo de la Universidad Estadual de São Paulo (UNESP), Brasil y Samuel Rivera de la Universidad de Utah.

### **Ejes de la investigación**

La investigación cuenta con varias líneas o ejes dentro del marco de los servicios ecosistémicos. Por un lado, se abordan los servicios ecosistémicos en las áreas forestales (por ejemplo, bosques naturales o plantaciones) y, por el otro, se enfoca otras áreas naturales (por ejemplo, espacios verdes urbanos, áreas destinadas a recreación, áreas degradadas, bosques periurbanos) que reúnen conglomerados urbanos insertos en áreas boscosas naturales. Precisamente, uno de esos casos de estudio lo conforma la cuenca forestoindustrial de Monte Quemado al norte de la provincia de Santiago del Estero. Otro de los sitios de estudio son asociaciones de productores/recolectores de frutos de algarrobos en poblados del interior de la provincia y, por último, el otro sitio de estudio es la misma ciudad capital de Santiago del Estero.

### **Propósito de la investigación**

La investigación llevada a cabo en este proyecto tiene como propósito avanzar en la aplicación de los conceptos de valor ambiental de los servicios ecosistémicos que se presentan en áreas forestales, áreas naturales, áreas urbanas y periurbanas. También se pretende generar mayor información de la existente en materia de valoración ambiental en Santiago del Estero y poner a disposición de investigadores y de estudiantes los

avances que se obtengan. La información también va a estar orientada a quienes toman decisiones en materia ambiental que estén ligados a esferas de gobierno local y nacional.

## Estructura del capítulo

El capítulo está estructurado en función de los ejes de la investigación que se han seguido para su ejecución y desarrollo. Se presentan algunos conceptos referidos a los temas abordados y los procesos metodológicos para terminar con los resultados a los que se ha arribado luego de aplicaciones de métodos, visitas al campo y análisis en gabinete.

Dado que el proyecto está conformado por personas de la UNSE y cada una de ellas posee un tema de investigación (en una tesis de grado o posgrado) o simplemente por la necesidad de generar información por medio de la investigación en sí mismos, este proyecto contiene líneas internas de investigación que poseen en común a los servicios ecosistémicos y a la manera de gestionarlos.

## Servicios ecosistémicos

Los servicios ecosistémicos son todos aquellos beneficios que los ecosistemas o la naturaleza en su totalidad les brindan a las personas (*Millennium Ecosystem Assessment*, MEA, 2005). Existe una clasificación generada por MEA que incluye: (a) servicios de aprovisionamiento, tales como alimento y agua; (b) servicios de regulación, como, por ejemplo, flujo y control de disturbios; (c) servicios culturales como pueden ser los recreacionales, espirituales y beneficios culturales; y (d) servicios de soporte como el ciclo de nutrientes, que mantienen las condiciones de vida sobre la tierra (MEA, 2005).

Actualmente, los usuarios de los bosques locales reconocen que estos ecosistemas suministran un amplio rango de beneficios ambientales, adicionalmente a los bienes valiosos como maderas, fibras, leña, plantas comestibles y medicinales. Los servicios ambientales que se reconocen en los bosques incluyen la protección de las cuencas, recreación, propiedades medicinales de algunas plantas, conservación de la diversidad biológica, hábitat de diferentes especies animales y vegetales y la belleza de los paisajes y su valoración; todos estos factores representan la importancia de esos servicios en la calidad de vida de las personas (Jacobs *et al.*, 2020). Se ha demostrado que existen beneficios adicionales, tales como el papel en la estabilización del clima, el secuestro de carbono en la biomasa o como bancos de información genética. Muchos de estos servicios valiosos no son considerados en los mercados y son ignorados dentro de los planes de manejo forestal. Al respecto, Bruno y Sarmiento (2017) realizaron un estudio para medir la percepción por parte de pobladores del ecosistema bosque y sus servicios ecosistémicos entre actores locales en una ciudad al norte de Argentina. Determinaron que los servicios son realmente importantes para los pobladores que dependen de los mismos, principalmente los de provisión de frutos provenientes de bosques implantados de *Prosopis*. Los valiosos servicios que son suministrados por los bosques están ganando la atención del mundo. Por eso, hoy en día, los gobiernos, las compañías y los ciudadanos están reconociendo enormemente el amplio rango de servicios que los bosques suministran. También existen otros servicios como el uso recreativo y su contribución a las bellezas escénicas. Estos servicios son vendidos a través de empresas de ecoturismo, pago por entradas a parques nacionales y mercados de propiedad residencial. La comunidad internacional reconoce la importancia global de los bosques para garantizar todos los servicios ambientales antes mencionados. Además, los bosques constituyen el medio



de vida de más de 2.500 millones de personas en el mundo y proporcionan una amplia gama de beneficios económicos (FAO, 2018). La institución Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF, siglas provenientes del inglés *World Wildlife Fund*) reconoce que un buen manejo de los bosques es la única manera de lograr una gestión sostenible de todos los tipos de bosques (Pfeil y Sepp, 2008).

Desde un punto de vista económico, social, cultural y ambiental, la trascendencia de los bosques nativos del país señala la importancia de generar esquemas de manejo sustentables que permitan abastecer la necesidad de madera y al mismo tiempo mantener e incrementar los servicios ecosistémicos, tales como la provisión de agua y las oportunidades turísticas y de pesca recreativa (Nahuelhual *et al.*, 2007).

Todos estos productos se comercializan en los mercados y, por tanto, generan beneficios económicos que se contabilizan en dichos mercados. Por ello, se denominan beneficios económicos de mercado (Kahn, 1995). Sumados a estos beneficios económicos, se agregan los beneficios indirectos del bosque que son el turismo y el ecoturismo, que en la actualidad han cobrado gran importancia y que pueden significar un incremento en los ingresos que se obtienen de la comercialización de bienes del bosque local.

Hay otros servicios que no son estudiados en este trabajo pero que no dejan de ser importantes para la provisión de los que sí se estudian. Por ejemplo, con respecto a la biomasa acumulada, los bosques cumplen funciones ecológicas y proveen servicios intangibles que son esenciales, como la protección del suelo, la regulación del clima local, la atenuación de disturbios (como las inundaciones), la regulación de gases atmosféricos (captura de carbono) o la provisión de refugio a la biodiversidad (MA, 2007; Nepstad *et al.*, 2008; Laurance, 2008).

Por todo eso, conocer y valorar los bienes y servicios ecosistémicos permite entender mejor de qué manera los activos

naturales afectan la calidad de la vida en la Tierra (Daily, 1997; Daily *et al.*, 2000; Folke, 2006; TEEB, 2010). Por consiguiente, debido a demandas tales como el diseño de políticas, la toma de decisiones, el pago por activos ecológicos, etc., se han multiplicado los esfuerzos dirigidos a estimar el valor de los bienes y servicios de la naturaleza, los que procuran ofrecer una medida de la capacidad de los ecosistemas para satisfacer necesidades esenciales para la vida.

Para poder valorar un servicio ambiental es necesario poder encontrar datos monetarios que representan la disposición a pagar por algo, conocida como la DAP. Ese valor encontrado corresponde a lo que la persona considera que ese servicio ecosistémico vale para ella, es decir, su percepción del valor asociado a la utilidad que el mismo le otorga. Si se supone que el producto o servicio tiene un mercado determinado y un precio, lo que estuviera dispuesto a pagar una persona por sobre del valor de mercado se denomina Excedente del Consumidor (EC).

Mediante encuestas es posible encontrar esos valores y tratarlos estadísticamente. Con los valores de DAP y eventualmente a partir de estos los de EC, se puede obtener un promedio de los valores encontrados en la muestra dividiendo el valor de la muestra entre los integrantes de la misma; ese valor es conocido como el Excedente del Consumidor Individual (ECI). Ese valor de ECI, si se multiplica a toda la población de recolectores, productores de vainas de algarrobos, se obtiene el Excedente de Consumidor Total (ECT) y, a su vez, multiplicado por 12 que son los meses del año se puede obtener el Excedente de Consumidor Total Anual (ECTA). En el caso de que el precio del servicio o del bien fuese cero, la DAP se iguala al EC.

## **EJE 1: Percepción de usuarios de servicios ecosistémicos de bosques nativos y plantaciones de algarrobos**

Los bosques nativos presentes en la región chaqueña norte de Argentina ofrecen innumerables servicios ecosistémicos entendidos también como contribuciones de la naturaleza a los pobladores que habitan en ellos. Se aplicaron 111 encuestas semiestructuradas a los pobladores con un total de 20 preguntas con el objetivo de identificar las percepciones de los servicios ecosistémicos o contribuciones de la naturaleza por parte de pobladores que habitan en ambas zonas y la dependencia del bosque. Las primeras preguntas del cuestionario estaban orientadas al objetivo de este punto, es decir, la percepción sobre los servicios ecosistémicos.

Esas 111 encuestas estuvieron orientadas a personas directamente relacionadas a los mismos. Se realizó la encuesta a pobladores y a usuarios de servicios ecosistémicos preferentemente relacionados a la provisión de frutos de algarrobos destinados a uso alimentario. Basados en la clasificación de MEA (2005), y siguiendo ese objetivo, se ofrecieron en la encuesta opciones de elección de servicios o funciones de provisión, regulación, soporte, provisión y culturales. Cada una de estas opciones ofrecía alternativas a ser elegidas por los encuestados.

Este pretende ser un estudio sobre el uso que durante mucho tiempo las comunidades rurales del interior de la provincia de Santiago del Estero han venido dando a los servicios ecosistémicos identificados solamente como productos forestales madereros y no madereros de gran importancia en las zonas de estudio.

La investigación se ha desarrollado íntegramente en la provincia de Santiago del Estero con integrantes de la Cooperativa Agro Naciente ubicada en Colonia El Simbolar, otra Asociación de recolectores ubicados en Árraga y una más en Guanaco Sombriana, todas en la provincia de Santiago del Estero, Ar-

gentina (Figura 1).

Tales asociaciones poseen diferencias en lo que respecta a dos cuestiones. Una de ellas es que la Cooperativa Agro Naciente en Colonia el Simbolar cuenta con plantaciones de *Prosopis alba*, lo que otorga cierta facilidad de acceso a los frutos, en tanto que Árraga y Guanaco Sombriana están en una zona donde no existen plantaciones y los ejemplares de *Prosopis* están bastante distanciados entre sí; esto origina mayores esfuerzos en la recolección de sus frutos. Otras diferencias radican en que la Cooperativa Agronaciente se encuentra en una zona con acceso al agua de riego proveniente del río Dulce, denominada Zona de Riego (ZR); en tanto que las otras dos asociaciones están en zonas donde no se dispone de sistemas de riego, a la que se denomina Zona de Secano (ZS). También se analizaron si hay algunas diferencias entre ambas zonas con respecto a las percepciones por parte de los usuarios de los servicios ecosistémicos.



Figura 1. Instancias de realización de los talleres con los usuarios de los servicios ecosistémicos provistos por bosques nativos y plantaciones de *Prosopis*

(Fotos Ing. Ftal. Carlos Bruno y Técnico Forestal José Mitre).

Las respuestas obtenidas de esas 111 encuestas se muestran en la Figura 2. La misma posee los resultados en columnas agrupadas por color. Dentro de las respuestas se encuentran subopciones que pertenecen a las opciones de los 4 tipos de servicios ofrecidos en la encuesta. Por ejemplo, para los servicios de provisión (mostrados en color verde en el gráfico) se

ofrecían subopciones de alimentación humana, alimentación animal, plantas medicinales, materias primas para manufacturas, postes, recursos ornamentales y leña y carbón.

De la misma manera se ofrecían subopciones dentro de los servicios de regulación (en color rojo) entre las que están almacenamiento de agua y reciclaje de nutrientes, control biológico, mantenimiento de la diversidad biológica, secuestro y liberación de CO<sub>2</sub>, regulación climática y control de erosión.

Por otro lado, como servicios de soporte o funciones de mantenimiento (mostrados en color azul) se ofrecían las siguientes subopciones: soporte del hábitat humano, soporte del hábitat para animales, de cultivos asociados y de la estructura del paisaje.

Finalmente, como servicios culturales (en color celeste) se presentaron las opciones de estética, cultural y científica educativa.

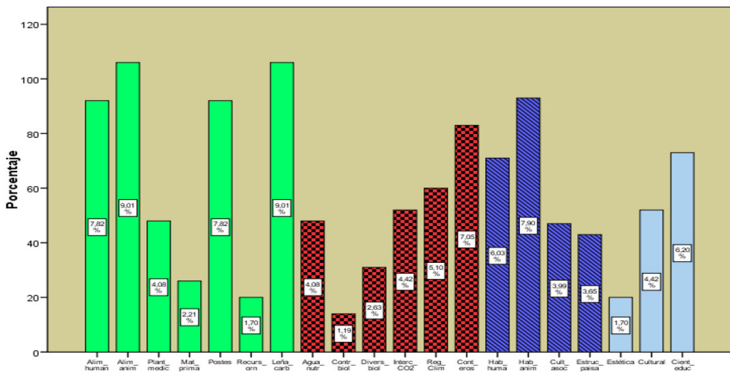


Figura 2. Gráfico de barras mostrando las diferentes respuestas de los encuestados acerca de las subopciones de servicios de provisión, regulación, soporte y culturales en los colores verde, rojo, azul y celeste, respectivamente.

Entre los resultados obtenidos se observa que la función productiva indicada en color verde (correspondiente al servicio ecosistémico de provisión) es la de mayor relevancia, y se destacan las funciones de alimentación animal, alimentación humana, obtención de postes, leña y carbón. Le siguen en color rojo las funciones de regulación (servicio ecosistémico de regulación), dentro de las cuales se destacan las de control de erosión con un porcentaje mayor y en orden decreciente continúan regulación climática, secuestro y liberación de CO<sub>2</sub> en un mismo porcentaje que almacenamiento de agua y reciclaje de nutrientes. Luego, continúa la función de mantenimiento (servicio ecosistémico de soporte), entre las que se destacaron la función de hábitat para animales, luego, y en menor importancia, las funciones de cultivos asociados y como componente de la estructura del paisaje. Finalmente, se presenta la función de información (servicio ecosistémico cultural) que muestra, en orden de importancia, la función científica educativa como la que fue mayormente considerada con respecto a las otras.

Otro análisis más pormenorizado que el anterior estuvo orientado a la diferencia que podría llegar a haber entre las dos zonas, explicadas anteriormente, en las que se estudiaron estas percepciones por parte de los usuarios de SE encuestados y mostradas en la Figura 3.

En la figura siguiente, se muestran, por separado, los resultados obtenidos en las dos zonas (ZR y ZS). Los valores de respuestas obtenidos para ambas zonas con respecto a los servicios de provisión no varían mucho entre sí. Sin embargo, es destacable el valor que adquiere la opción plantas medicinales para la zona de secano (ZS) y una sensible disminución de alimentación animal y obtención de leña.

Con respecto a los servicios de regulación, no hay muchas diferencias entre las respuestas en ambas zonas excepto que en la zona de secano (ZS) se incrementa las respuestas en los

servicios de control de clima y disminuye el de control de erosión. Acerca de los servicios de soporte en la zona de riego (ZR), la percepción es mayor que en la ZS en lo que respecta específicamente a hábitat animal, en tanto que para el hábitat humano en ambas zonas es igual.

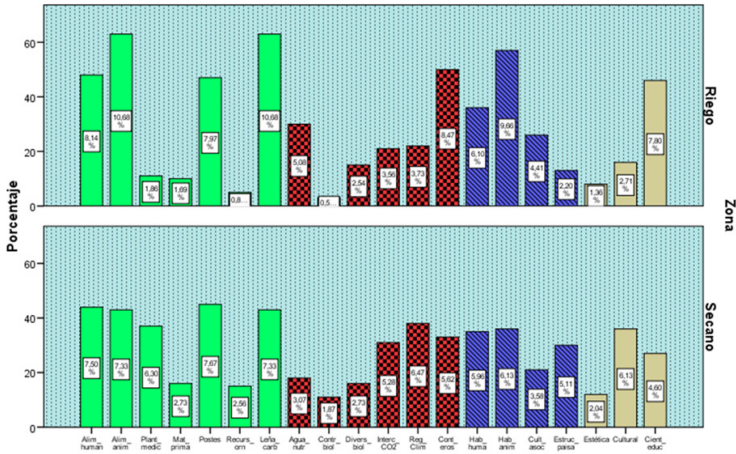


Figura 3. Percepción de los servicios ecosistémicos por parte de usuarios en diferentes zonas de estudio. Se observan respuestas en la zona de riego (ZR) y, por otro lado, en la denominada zona de seco (ZS)

Finalmente, en color celeste se muestran las respuestas de los servicios culturales, entre los cuales el más reconocido por los encuestados es el de conocimiento científico que predomina en la ZR, en tanto que en la ZS destaca más la percepción cultural de los servicios ecosistémicos. Este punto hace referencia a saberes locales y prácticas tradicionales del manejo y utilización de los individuos forestales presentes en ambas zonas.

## Eje 2: Valoración de los servicios ecosistémicos de plantaciones de algarrobos

Uno de los ejes de la investigación realizada en este proyecto estuvo orientado a la identificación, cuantificación y valoración económica de los servicios de provisión de vainas de algarrobos provenientes específicamente de plantaciones de *Prosopis alba* de la provincia de Santiago del Estero. Las vainas de algarrobos (*Prosopis alba*) constituyen un alimento para las personas y animales desde hace muchos años en nuestra región.

En 1999, con la promulgación de la Ley N°25.080, se dio un cambio drástico en la política forestal. Se creó un modelo tutelado por el Estado que se propuso alcanzar 2 millones de hectáreas en el país hasta el año 2020. Este régimen de promoción otorga beneficios económicos y fiscales para fomentar el desarrollo forestoindustrial. La falta de incentivos a pequeños productores de especies nativas afecta el desempeño de la Ley N°25.080 en la región Parque Chaqueño. Con el fin de adoptar la actividad forestal como un emprendimiento viable, se propone, con este trabajo, valorar los servicios ecosistémicos que brindan rodales puros de algarrobo mediante la percepción del valor por parte de los propietarios de los mismos. Ese valor obtenido podría ser la base de un futuro esquema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA) que los propietarios podrían percibir por algún mecanismo público o privado. Valorar económicamente al medio ambiente significa poder contar con un indicador que represente la importancia de lo que significan las especies y los ecosistemas para la sociedad y, a su vez, que pueda ser comparable con otros bienes que tienen valor monetario (Sarmiento *et al.*, 2020). En la actualidad, el sector forestal regional cuenta con un vacío de información en este aspecto.

Como objeto se planteó valorar económicamente los servicios ambientales que brinda un rodal regular, es decir, una



plantación de Algarrobos que puede abarcar desde 1 a 10 ha, como en el caso de los rodales de la zona de estudio de *Prosopis alba*, mediante la percepción de pequeños productores.

Para valorar los servicios ambientales existen diferentes métodos; en este caso se optó por el Método de Valoración Contingente (MVC), donde el indicador utilizado fue la Disposición a Pagar (DAP). El MVC está basado en la técnica directa y se emplea para mercados hipotéticos, para valorar bienes o servicios que carecen de mercado, como lo sostiene Riera et al. (2005). Para este caso, la muestra de estudio estuvo conformada por 50 productores inscriptos en el Registro Nacional de la Agricultura Familiar (ReNAF), beneficiados con incentivos económicos otorgados por la Ley de Inversiones para Bosques Cultivados, más conocida como la Ley N°25.080. El área de estudio quedó definida por 8 departamentos distribuidos homogéneamente en el territorio provincial (Figura 4).

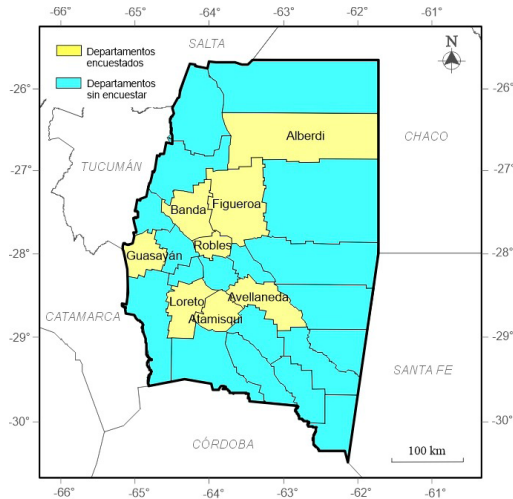


Figura 4. Mapa de la provincia de Santiago del Estero donde se pueden identificar los departamentos encuestados en el marco de la Ley N°25.080. Elaboración propia.

La metodología empleada para la recolección de datos fue mediante encuestas semiestructuradas aplicadas a pequeños productores asistidos por la Unidad Ejecutora para planes forestales de la Ley N° 25.080 (Ley de inversiones para bosques cultivados, régimen de promoción). Los datos obtenidos en diciembre de 2017 se procesaron mediante el *software* estadístico SPSS y luego se procedió a calcular el área bajo la curva para determinar el Excedente del Consumidor (EC) individual y total. La Figura 5 expone la DAP (US\$/ha/año) por parte de la población de estudio.

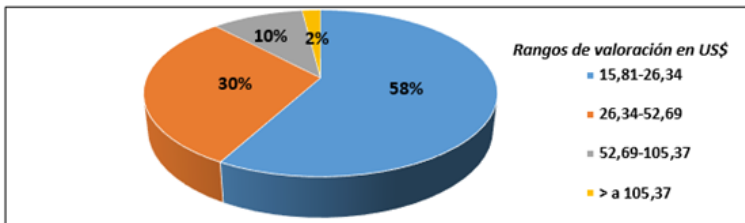


Figura 5. Gráfico que muestra el porcentaje de encuestados que está dispuesto a pagar diferentes valores de sumas monetarias expresadas en dólares americanos en cuatro rangos de valores.

En la zona de regadío (ZR), las tres cuartas partes de la población están dispuestas a pagar un valor mínimo para la conservación de plantaciones forestales, mientras que en zona de secano (ZS) hay una tendencia a pagar cifras superiores a la mínima, por eso, la DAP se mantiene con un valor superior al de la zona riego en todas las demás categorías. Se deduce que el productor de la zona de secano valora más los servicios ecosistémicos del bosque implantado.

Los resultados arrojaron que la DAP individual para asegurar la provisión de servicios ambientales en las plantaciones es de \$617/ha/año. Dicha cifra se extrapoló a toda la población, que son unos 140 productores (Arce *et al.*, 2014), y se calculó

una disposición a pagar total de \$86.336/ha/año. Este último importe de dinero representa hipotéticamente lo que estarían dispuestos a contribuir anualmente los propietarios de bosques implantados para garantizar la persistencia de las plantaciones forestales (Figura 6).

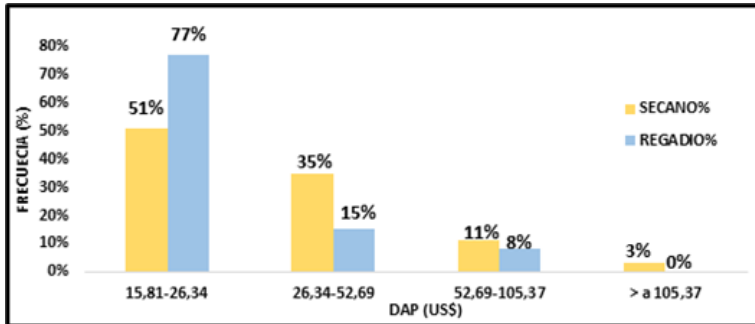


Figura 6. Gráfico que muestra un histograma de frecuencias de valores de DAP por zonas geográficas. Elaboración propia.

Con este resultado se puede elaborar conclusiones y recomendaciones, a saber:

- Se vuelve necesario definir un vehículo de pago mediante políticas públicas o privadas para implementar un sistema de Pagos por Servicios Ambientales (PSA), que permita al productor mejorar el perfil de rentabilidad de su inversión y garantizar la persistencia de los macizos de algarrobo en la provincia de Santiago del Estero.

- Los propietarios de bosques implantados con especies nativas valoran económicamente los servicios ecosistémicos suministrados con un valor de 32,49 US\$/ha/año al mantener en pie esa masa forestal implantada de algarrobos. Dicho de otro modo, la disposición a pagar total que se expresa como el valor del Excedente del Consumidor Total Anual (ECTA) es de 4.548,38 US\$. Este valor se obtiene por la multiplicación del Excedente del consumidor individual (ECI) por el número de

productores que están en la zona. Como en este caso la actividad de recolección se ejecuta un solo mes, se asume que el valor no debe ser multiplicado por 12 (meses) sino por 1 (mes).

- El beneficio que aporta a la sociedad esta valoración es lograr incentivar a productores forestales locales a implantar, manejar y conservar las plantaciones de algarrobo no solo con fines madereros sino también por razones ambientales.

### **Eje 3: Valoración económica de servicios de provisión de vainas de algarrobos de bosques nativos**

El progresivo reconocimiento científico y el mayor nivel de conciencia de los productores en particular y de la población en general sobre los múltiples beneficios, tanto tangibles como intangibles, que brinda el bosque nativo han determinado una mirada más crítica hacia el reemplazo indiscriminado de los bosques por otros usos (Peri *et al.*, 2021).

Además del uso como productor de madera con diferentes fines, los algarrobos proveen servicios ecosistémicos de provisión de frutos para la elaboración de harinas con fines alimentarios (Sarmiento, 2017), que se destaca por propiedades antioxidantes para el ser humano (Pérez *et al.*, 2014). La producción de frutos de *Prosopis* es constante mientras existan masas boscosas en pie. La demanda de estos bienes está asegurada por cuestiones socioculturales y por el conocimiento de los consumidores de esos productos (Sarmiento, 2017). Las masas forestales nativas también permiten desarrollar actividades relacionadas a la producción animal, sea caprina o bovina, por la producción de forraje obtenido de los mismos (Riat, 2012). Como reportan Sciammaro *et al.* (2016), muchas especies de *Prosopis* son recursos multipropósitos muy valorados en las regiones nativas ya que proveen madera, leña, alimento para ganado, alimento humano, sombra, refugio y mejoras en

los suelos.

El objetivo de este trabajo es estimar el valor económico expresado en \$/mes de la DAP por los servicios de provisión de frutos de los Algarrobos en tres localidades de la provincia de Santiago del Estero, Argentina.

La vegetación nativa presente en cada uno de los sitios de estudio comprende a los bosques xerofíticos y semicaducifolios del Chaco Semiárido, que se extiende desde el oeste de Chaco y Formosa hasta el este de Salta y Tucumán incluyendo el noroeste de Córdoba y la totalidad de Santiago del Estero (Giménez y Moglia, 2003). En el departamento Robles, donde se encuentra uno de los sitios de este estudio, existe un área con forestaciones de Algarrobo blanco en predios de productores forestales que se han beneficiado por la aplicación de la Ley N°25.080 (Ley de inversiones para bosques cultivados). Las demás áreas de estudio poseen otra situación de disponibilidad de recursos provenientes del monte, ya que no hay forestaciones y la recolección de vainas de Algarrobo es más compleja en su aplicación dado que se adaptan a la distribución natural existente del monte nativo (Sarmiento y Villareal, 2015).

Esta investigación se desarrolló en tres departamentos de la provincia de Santiago del Estero: Atamisqui, Silípica y Robles. Geomorfológicamente, el área de estudio se encuentra dentro de la unidad conocida como Llanura Chaqueña, una amplia cuenca de sedimentación de poca pendiente e interrumpida por la presencia de paleocauces que definen los únicos elementos del relieve (Senilliani *et al.*, 2020).

El estudio se enfocó en tres asociaciones de productores locales, una por cada departamento: Asociación de Pequeños Productores de las Salinas Atamisqueñas (dpto. Atamisqui), Asociación Guayacán de Árraga (dpto. Silípica) y Cooperativa Agro Naciente de Colonia El Simbolar (dpto. Robles). Las mismas se ubican geográficamente en la provincia de Santiago del Estero, según se muestra en la Figura 7.

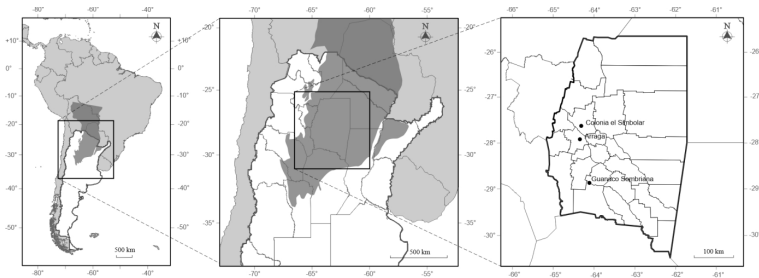


Figura 7. Ubicación de los puntos donde se aplicaron las encuestas para los estudios de valoración y de percepción de servicios ecosistémicos.

Se aplicó el Método de Valoración Contingente (MVC) clasificado como un método hipotético y directo (Sarmiento, 2012) que se basa en la información que revelan las personas cuando se les pregunta sobre la valoración del bien ambiental objeto de análisis. Por lo tanto, un elemento fundamental de este método es el diseño de un cuestionario que recoja la valoración que las personas otorgan a los cambios que se producen en su nivel de bienestar ante una alteración en las condiciones de oferta del bien ambiental (Riera *et al.*, 2005). De esta forma, se evita el obstáculo que supone la ausencia de mercado para los bienes ambientales enfrentando a los consumidores con mercados hipotéticos en los cuales tienen la oportunidad de mostrar su disposición a pagar (DAP) o la disposición a ser compensados (DAC) por el bien ambiental objeto de análisis (Sarmiento y Prieto, 2005; Sarmiento, 2012).

Los resultados de este trabajo apuntan a determinar cuál sería la suma que estarían dispuestos a destinar (DAP) mensualmente por hectárea para asegurar la permanente producción de vainas para los diferentes usos que se les da a las mismas. Para obtener esa respuesta, en la encuesta se ofrecían diferentes importes para que el encuestado eligiese alguna que repre-

sente su disposición a pagar (o a destinar esa suma de dinero). El análisis de esos datos es similar para la DAP o para la DAC. Antes de realizar la determinación del área bajo la curva, se hicieron análisis para determinar el tipo de función (lineal, polinómica, exponencial, logarítmica, etc.) que ajuste mejor a la distribución de los valores de DAP. La función que mejor ajusta la distribución de esos datos con un coeficiente de correlación  $R^2$  de 0,96 es una función polinómica. Luego se determinó el área debajo de la curva (Figura 8) que representa el Excedente del Consumidor (EC) de la muestra estudiada, mediante el cálculo de la integral de la función antes seleccionada con el *software* Symbolab.

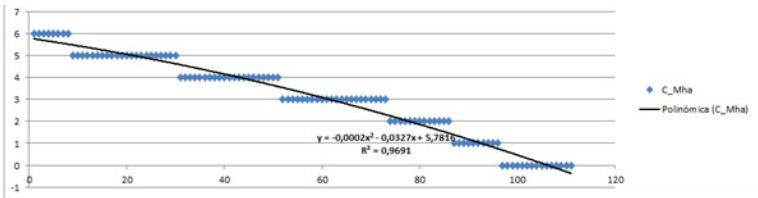


Figura 8. Gráfico de distribución de datos DAP (con la variable C\_Mha) función que representa esos datos y ajuste de la función.

El Excedente del Consumidor (EC) mensual para la muestra estudiada ( $n = 111$ ) calculado mediante la resolución de la integral de la función polinómica es igual a 343.369 \$/mes.

$$ECI = EC/n$$

$$ECI = 343.369 \$/mes / 111 \text{ casos}$$

$$ECI = 3.093,41 \$/mes/persona$$

(Excedente del Consumidor Individual)

$$ECT = ECI * N$$

$$ECT = 3.093,41 \times 1.097$$

Haciendo la misma consideración anterior desde el punto de vista de que la provisión de vainas dura tan solo 1 mes, la valoración queda:

$ECAT=3.093,41 \text{ \$/mes/persona} \times 1.097 \text{ personas} \times 1 \text{ mes/año}$

$ECAT=3.393.470 \text{ \$/año}$  (para un mes considerándolo al año de provisión)

Esta suma monetaria superior a los 3 millones de pesos (US \$113.100,7 a un tipo de cambio de 1 dólar estadounidense a 30 pesos argentinos a agosto de 2018) anuales en la provincia, representa lo que está dispuesta a pagar (DAP) la población de personas relacionada a la producción de vainas de algarrobo blanco, para mantener el nivel de producción de vainas en el ecosistema en que viven. Comparando ambos valores obtenidos, se puede determinar que los 3.393.470 \$/año de disposición a pagar (DAP) es mayor que 1.679.155 \$/año, la disposición a recibir una compensación (DAC). Esto puede deberse a que las personas propietarias de los predios consideraron un valor infinito y no aceptaban ningún monto de dinero a cambio de los servicios de sus algarrobales. Por otro lado, el valor superior en DAP se debe a que gran parte de los productores consideró muy importante destinar parte de sus ingresos monetarios a mantener los servicios ecosistémicos (de provisión) de sus bosques.

#### **Eje 4: Servicios ecosistémicos presentes en la cuenca Forestal Monte Quemado. Propuestas de gestión**

*Otro eje de estudios del proyecto estuvo orientado a los servicios ecosistémicos que ofrece la denominada cuenca forestal de Monte Quemado que se encuentra al norte de la provincia de Santiago del Estero.*

En Argentina, el Parque Chaqueño limita al norte con Bolivia y Paraguay, al este y al sur con la región del Espinal y al



oeste con las regiones de la Selva Tucumanoboliviana y Monte. La región del Parque Chaqueño en Argentina involucra a doce provincias, abarcando la totalidad de Formosa, Chaco y Santiago del Estero, norte de Santa Fe, San Luis y Córdoba, este de Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan, y noroeste de Corrientes (SAyDS, 2003). El Parque Chaqueño ocupa más de 67.549.995 ha y abarca el 22% de la superficie continental del país. La parte argentina ocupa el 58% de la superficie del Gran Chaco Americano

El crecimiento demográfico de mediados del siglo XIX concentrado en la región pampeana produjo un aumento en la demanda de maderas para la construcción y los combustibles, lo que elevó la actividad extractiva en los territorios forestales de la zona tropical y subtropical. Al uso doméstico de la madera del bosque chaqueño se sumó la demanda de las incipientes industrias, favorecida por la expansión de las vías férreas, que además obligó al consumo de durmientes de quebracho colorado y de carbón de otras maderas duras. La extracción de tanino para el curtido del cuero aumentó en proporciones notables durante la Primera Guerra Mundial y motivó la extracción desmedida de árboles maduros, con el consecuente empobrecimiento de las masas (SAyDS, 2003). La extracción de leña con fines energéticos, comerciales, domésticos y otros productos forestales como postes es la actividad predominante en áreas previamente aprovechadas y en zonas cercanas a asentamientos rurales o poblados. La continua extracción de estos productos produce áreas fuertemente degradadas, las cuales se caracterizan por la predominancia de arbustos (UMSEF, 2008).

Ese escenario con actividades forestales generó en la región un crecimiento del sector que duró algunas décadas. Sin embargo, la actividad productiva en relación al potencial forestal ha sido desestimada como elemento de desarrollo. Con excepción de la experiencia de los distritos forestales en la déca-

da de los ´70, hasta la promulgación de la Ley de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos (Ley Nº26.331) o Ley de Bosques Nativos como más se la conoce, los intentos de políticas o programas provinciales para el uso sustentable del bosque nativo fueron aislados.

La mayor parte de las 500 familias de productores de la cuenca forestoindustrial Monte Quemado son poseedores con ánimo de dueño de sus tierras, en las que han vivido por generaciones. Sin embargo, esta tenencia reconocida por ley no es actualmente suficiente para que puedan adquirir las guías de transporte de los productos forestales que extraen. Además, las normas que históricamente regularon la actividad se basan en procedimientos administrativos altamente burocráticos y con un lenguaje técnico completamente extraño a los habitantes u obreros de los bosques. Esta situación, por un lado, crea una brecha de acceso a los mecanismos de legalidad de la producción y le asigna poder a quien puede obtener (de forma ilegal) las guías para transportar fuera de la provincia los productos elaborados (durmientes, carbón y postes) y, por el otro, significa un conflicto para la Dirección de Bosques y Fauna (DBF), que es la autoridad de aplicación de las leyes que regulan la actividad. Además, la DBF es la encargada de controlar el origen de los productos (decomisando las cargas que no puedan acreditarlo), contra el impacto social de la actividad en la región.

Con base en estos antecedentes, en este trabajo se propone analizar la contribución de los bosques desde tres escalas -provincial, departamental y comunitaria- al Producto Bruto Geográfico tomando como variables la generación de empleo y la participación en los ingresos familiares.

Como materiales y método de esta parte del capítulo se presentan los aspectos que fueron tenidos en cuenta.

El Estado provincial, a través de la Dirección General de Bosques y Fauna, impulsó en 2014 un espacio interinstitucional

destinado a fomentar el desarrollo forestal desde un enfoque integral, a escala de paisaje, participativo, con énfasis en desarrollar las cadenas productivas desde un abordaje económico que sea socialmente equitativo. Se ha tomado la cuenca forestal de Monte Quemado, que ocupa prácticamente la totalidad de los departamentos Copo y Alberdi, como un sitio piloto para el desarrollo de este enfoque (Figura 9) con la participación de diferentes instituciones relacionadas al sector forestal (Abt *et al.*, 2016).



Figura 9. Ubicación de la zona de estudio en el contexto nacional y provincial. Fuente: Nodo Forestal Parque Chaqueño. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

La cuenca se encuentra ubicada al norte de la Provincia de Santiago del Estero y esta a su vez en el norte del país limitando con la provincia del Chaco (Figura 10). La actividad que nuclea a ese conglomerado forestoindustrial se desarrolla en una cuenca de abastecimiento delimitada por un radio de cosecha de aproximadamente 80 km.

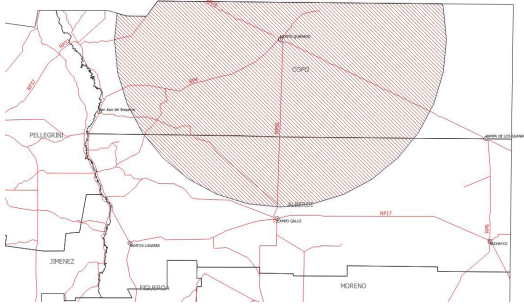


Figura 10. Ubicación de la cuenca al norte de la provincia de Santiago del Estero. Fuente: Nodo Forestal Parque Chaqueño. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

La cuenca está ubicada alrededor de la ciudad de Monte Quemado (Figura 11) y ocupa una superficie cercana a 1.270.000 ha con un 50,1% de bosques altos productivos, 26,9% de bosques bajos y 23% de "no bosque" (Cisneros et al., 2016; Abt et al., 2016).

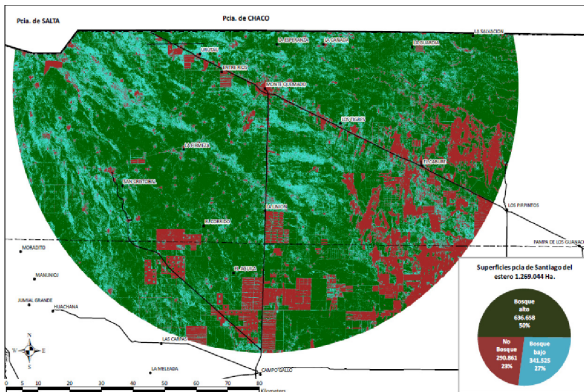


Figura 11. Ubicación de la cuenca al norte de la provincia de Santiago del Estero con detalles de áreas con cobertura de bosques. Fuente: Nodo Forestal Parque Chaqueño. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.

A continuación, se describen los pasos para definir el potencial como generador de desarrollo local de la cuenca de Monte Quemado.

En lo que respecta a la metodología, se han realizado relevamientos socioeconómicos y de los recursos forestales con el objeto de describir la situación particular de las personas que están relacionadas al recurso, como también para describir su situación desde la perspectiva económica.

Para el análisis y diagnóstico social se realizaron 187 encuestas orientadas a la descripción del grupo familiar, el acceso a servicios de salud, educación, entre otros. Además, se indagó acerca de la situación de los encuestados en relación al trabajo (monotributista, seguro, etc.) y si está afiliado a la Federación de Obreros de la Industria Forestal (FOSIF) y a la Obra social del Personal de la Industria Forestal (OSPIF). En la misma encuesta se abordó luego la parte económica propiamente dicha.

Para el análisis económico se les preguntó acerca de las actividades productivas que se desarrollan en la zona (actividad forestal, agricultura, pastoreo, artesanías, apicultura, entre otras). Se aborda la situación de la comercialización y de la tecnología disponible, entre otros aspectos.

Se analizaron, además, los datos del informe de indicadores económicos correspondiente a la Ficha Provincial de Santiago del Estero elaborada por el Ministerio de Economía y Finanzas Públicas (Secretaría de Política Económica, 2019) que se relaciona directamente a los resultados de las encuestas.

Según los resultados encontrados, en la actualidad en la ciudad de Monte Quemado y alrededores (departamento Copo) existe un número importante de establecimientos dedicados a la actividad forestal, de los cuales 30 aserraderos se encuentran agrupados y relacionados a unas 10 empresas transportistas y a más de 500 familias de productores primarios. Estos actores se hallan vinculados por diferentes cadenas

de comercialización de productos forestales provenientes de los bosques nativos.

Los principales productos forestales elaborados en la actualidad son los durmientes de quebracho colorado y blanco, vendidos desde los aserraderos; el carbón vegetal, comercializado directamente por las familias de productores primarios, y los postes de quebracho colorado. La superficie de bosques disponible puede producir, de manera sustentable, alrededor de 636.000 m<sup>3</sup>/año de madera. Actualmente, las extracciones equivalen a un 60% de esa posibilidad, lo que representa 100.000 t/año de rollos y 278.000 t/año de leña.

La producción de carbón vegetal es el principal uso forestal de los bosques nativos de la región chaqueña y de la provincia de Santiago del Estero en particular. Durante la serie 2001-2011, los bosques nativos de Argentina abastecieron, en promedio, aproximadamente 4 millones de toneladas por año de materia prima. En el promedio de la serie, el 75% de esta producción fue leña, para su uso como carbón (46%) o para su consumo directo (29%). Durante toda la serie analizada, en promedio el 85% de la producción nacional proviene de la región chaqueña. Dentro de la región chaqueña, más del 60% de la producción de carbón es llevada adelante por unidades familiares, de pequeña escala, con tres hornos o menos (De Bedia *et al.*, 2016).

Los ingresos económicos al sector local representan \$208.000.000/año, cuyos orígenes provienen de las actividades extractivas y de transformación en los siguientes porcentajes: 67% de durmientes, 23% de carbón, 10% de leña y tablas.

En cuanto al grado de participación de las jurisdicciones, la mayor participación está concentrada en las provincias de Santiago del Estero (36.2%), Chaco (27.9%), Buenos Aires (8.6%), y Salta (5.9%), que corresponde a una concentración, en estas provincias, del 79% de las extracciones de carbón (Braier, 2004).

Como se puede apreciar en la Tabla 1, el carbón es uno de los productos más elaborados de los principales en la región.

Producto	UM	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Participación en el total nacional (en %) <sup>(*)</sup>	Fuente
Leña de bosque nativo	miles de tn	22	47	24	28	56	49	55	47	36	26	31	s/d	3,2	SAyDS
Carbón	miles de tn	88	261	100	96	100	93	108	103	92	72	90	s/d	20,4	SAyDS
Postes de bosque nativo	miles de tn	29	52	39	25	23	24	14	12	19	20	14	s/d	37,0	SAyDS
Rollizos de bosque nativo	miles de tn	34	49	46	58	59	51	38	44	41	35	29	s/d	4,3	SAyDS

Tabla 1. Indicadores de producción del sector forestal en Santiago del Estero. Fuente: Secretaría de Política Económica (2019) según datos de la SAyDS

Los datos de la tabla anterior muestran la importancia a nivel nacional de los rubros productos forestales provenientes de Santiago del Estero, principalmente en carbón y postes provenientes del monte nativo.

La Tabla 2 muestra la participación de la rama productiva relacionada a la actividad aserrado y cepillado de madera, que proporciona un agregado de valor valuado en casi 7 millones de pesos y representa un 6,4% del total de la provincia acompañado con un valor bruto de 11 millones de pesos por año; con esto, se ocupa cerca de 300 puestos de trabajo. Con el objeto de potenciar la aptitud de la producción de carbón en la región, se acompaña técnicamente desde la Comisión de Desarrollo Forestal de la Cuenca Monte Quemado y con gestiones la puesta en marcha de una unidad de producción de carbón sustentable certificado.

Ramas productivas	CNE 2004									
	Valor Agregado		Valor Bruto de Producción		Asalariados		Locales		Asalariados por local	
	Bruto	Part.	de Producción	Part.	puestos	Part.	cantidad	Part.	puestos	
	miles de pesos	%	miles de pesos	%	puestos	%	cantidad	%	puestos	
<b>Actividades industriales</b>										
Elaboración de bebidas	24.455	23,1	72.652	22,7	640	22,2	36	4,5	17,8	
Producción y procesamiento de carne, pescado, frutas, legumbres, hortalizas, aceites y grasas	16.898	16,0	82.790	25,8	394	13,7	16	2,0	24,6	
Fabricación de hilados y tejidos; acabado de productos textiles	15.271	14,4	59.336	18,5	416	14,4	9	1,1	46,2	
Elaboración de productos alimenticios n.c.p.	13.044	12,3	29.170	9,1	527	18,3	207	26,1	2,5	
Fabricación de productos textiles n.c.p.	8.215	7,8	20.710	6,5	14	0,5	8	1,0	1,8	
Aserrado y cepillado de madera	6.723	6,4	11.044	3,4	268	9,3	29	3,7	9,2	
Edición	4.090	3,9	9.568	3,0	186	6,5	6	0,8	31,0	
Fabricación de muebles y colchones	3.127	3,0	4.801	1,5	95	3,3	95	12,0	1,0	
Elaboración de productos lácteos	2.667	2,5	7.960	2,5	67	2,3	6	0,8	11,2	
Impresión y servicios conexos	2.488	2,4	5.217	1,6	114	4,0	42	5,3	2,7	
<b>Total diez primeras actividades industriales</b>	<b>96.978</b>	<b>91,8</b>	<b>303.248</b>	<b>94,7</b>	<b>2.721</b>	<b>94,4</b>	<b>454</b>	<b>57,2</b>	<b>6,0</b>	
<b>Resto de actividades industriales</b>	<b>8.708</b>	<b>8,2</b>	<b>17.081</b>	<b>5,3</b>	<b>162</b>	<b>5,6</b>	<b>340</b>	<b>42,8</b>	<b>0,5</b>	
<b>Total industria</b>	<b>105.686</b>	<b>100,0</b>	<b>320.329</b>	<b>100,0</b>	<b>2.883</b>	<b>100,0</b>	<b>794</b>	<b>100,0</b>	<b>3,6</b>	

Tabla 2. Valor agregado, valor bruto de producción y generación de puestos de trabajo y número de locales donde se comercializa productos según ramas productivas de Santiago del Estero. Fuente: Secretaría de Política Económica (2019) según datos de la SAyDS

Para ello, se mantuvieron reuniones con los productores, se determinó participativamente la composición del precio de venta sustentable, se realizó el inventario y la planificación de la corta forestal en predio de un productor piloto. Se concretó la visita de la Certificadora SCS y se formuló un convenio de articulación institucional que involucra a una empresa importadora de carbón vegetal de España, dispuesta a adquirir carbón certificado. Además, se propició el dictado del curso de Certificación Forestal denominado "Programa para la Homologación de Sistemas de Certificación Forestal" en el marco del Sistema Argentino de Certificación Forestal (PEFC-CERFOAR).

Acerca de la producción de durmientes, el objetivo de esta actividad es acompañar el proceso y acceso a la venta directa de durmientes, con mecanismos que permitan una mejora sistémica de la cadena productiva y una distribución equitativa de los mayores ingresos (Cisneros *et al.*, 2016).

Una primera experiencia piloto llevada a cabo por la Comisión de Desarrollo Forestal conformada por técnicos de di-



ferentes instituciones ligadas al sector forestal de la provincia (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Facultad de Ciencias Forestales, Mesa Forestoindustrial de Santiago del Estero, Colegio de Graduados de Ciencias Forestales) permitió la compra directa por parte de la empresa Operadora Ferroviaria Sociedad del Estado (SOFSE) de 1.900 durmientes de quebracho colorado, y permitió la distribución de la renta incremental, mediante una reinversión de 25% de la misma en acciones de compromiso social en la cadena de producción. También se avanzó en el compromiso de firmar convenios marco interinstitucionales entre el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, la Administración de Infraestructura Ferroviaria Sociedad del Estado, la Dirección de Bosques y Fauna de la provincia de Santiago del Estero y la Asociación de Productores de Monte Quemado.

En particular, en la ciudad de Monte Quemado, los resultados de acuerdo con información brindada por el grupo de productores y algunos informantes clave, indican que el radio de cosecha de rollizos es de aproximadamente 80 km alrededor de la ciudad de Monte Quemado, sede de todos los aserraderos (Polo Industrial). Esto constituye la denominada "cuenca forestal" de la que se abastece el polo y tiene una superficie total aproximada de 1.269.044 ha. Según la caracterización inicial, se estimó que la misma posee 636.658 ha de bosques altos productivos y 341.525 ha de bosques bajos, siendo el resto de la superficie de la cuenca zona de "no bosque".

Como resultados finales y números globales generados por la Comisión de Desarrollo Forestal para la Cuenca Forestal de Monte Quemado, se puede considerar que en los departamentos Copo y Alberdi hay 1.000.000 ha de bosques nativos. Esto representa una disponibilidad de extracción potencial de la cuenca de 600.000 t/año de productos forestales distribuidos como:

- Producción primaria: i) 100.000 t/año de rollos y ii)

200.000 t/año de leña.

- Producción primaria transformada: i) 56.000 t/año de durmientes; ii) 17.000 t/año de tablas; iii) 10.000 t/año de postes y 40.000 t/año de carbón.

Estas actividades y los productos obtenidos en todas las etapas de proceso generan una mano de obra en puestos de trabajo de un total de 1.220 trabajadores directos y permanentes.

A modo de conclusión de este eje, se puede destacar que este proyecto es el pionero en su escala y supera los desafíos que se han presentado desde la implementación de la Ley de Bosques N°26.331, tanto por su enfoque a nivel de paisaje como por la variedad y complejidad de acciones técnicas legales, comerciales y organizativas comprendidas en su ejecución.

Con base en los resultados del análisis, se pone en discusión la mejora socioeconómica que puede producir a diferentes escalas la implementación de estrategias de gestión de recursos.

Esta mejora está basada en acompañar al potencial forestal de la región desde una visión integral de uso, con la participación de todos los actores y la valorización de las particularidades socioambientales que identifican a este conglomerado productivo.

Se pretende fomentar un proceso que contribuya a revertir el prejuicio instalado de que la actividad forestal en bosques nativos es y será siempre marginal, informal, extractiva, degradativa y poco productiva. Se considera que, articulando actores y herramientas estatales con un buen diagnóstico y con la posibilidad de brindar los espacios para la participación de los actores, es posible contribuir a ello y demostrar e incrementar el aporte del sector forestal a la economía local, provincial y nacional.

El marco de trabajo interinstitucional y las acciones realizadas hasta el momento permitieron obtener resultados concretos y avanzar en el abordaje de los problemas típicos del sector forestal en la provincia.

## Eje 5: Servicios urbanos por reciclado de residuos

Otro eje de investigación del mencionado proyecto está relacionado a la provisión de servicios ecosistémicos que se generan por una acción de un grupo de personas en una gestión de residuos sólidos generados por la actividad comercial de la ciudad. El proceso de recolección, selección y pretratamiento de los residuos reciclables de la ciudad permite vislumbrar una clara gestión de residuos sólidos reciclables por los denominados recicladores urbanos. Esta acción no solamente produce limpieza en la ciudad sino fuentes de trabajo para las personas que recolectan estos residuos y los introducen en un circuito comercial que les permite obtener un ingreso económico para mejorar su calidad de vida. Por otro lado, esta acción genera ahorros para el municipio, ya que al disminuir la cantidad de residuos en la vía pública hay menor gasto de combustible por parte de los camiones recolectores.

Este trabajo forma parte de un avance de la beca Estímulo a las Vocaciones Científicas (EVC-CIN) bajo la investigación "Servicios ambientales generados por la gestión de residuos sólidos reciclables por parte de recuperadores informales en la ciudad de Santiago del Estero", y también como avance de la tesis de grado de Licenciatura en Ecología y Conservación del Ambiente de la FCF- UNSE

La actividad económica de la ciudad capital de Santiago del Estero produce residuos sólidos que no son manejados según criterios contemplados en otras ciudades más desarrolladas. La disposición final de los residuos se realiza a través de rellenos sanitarios, basurales semicontrolados o basurales a cielo abierto. Solo dos municipios poseen como sitio de disposición final un relleno sanitario en la provincia. La tasa municipal referida a la recolección y tratamiento de residuos es de bajo costo y es muy común que la mayoría de los ciudadanos no la abonen. Por lo tanto, las partidas presupuestarias son insu-

ficientes para generar una gestión integral de residuos sólidos urbanos (GIRSU) como sucede en muchas provincias de Argentina (González, 2010).

Esta situación ha generado que otras personas ajenas al servicio de recolección domiciliar de residuos realicen actividades paralelas de recolección y reciclado de residuos de la ciudad, dando lugar al desarrollo de un circuito de reciclables (Pintos *et al.*, 2019a) y conformando un mercado de reciclaje con más de 40 años de actividad (Pintos *et al.*, 2018).

El mercado de reciclaje opera como cualquier otro mercado de bienes y servicios, donde existen consumidores y oferentes (Meléndez Ábalos, 2006). A nivel local e internacional funciona a través de intermediarios (en pequeña o gran escala) que facilitan los acopios para los recolectores y consumidores. Este mercado es una industria pujante en varios países. La importancia económica, social y ambiental se ha comprendido en aras de un menor impacto en la capacidad de carga.

Esto significa una baja en la presión que la actividad del ser humano realiza sobre la naturaleza, ya que los recursos naturales tienen un límite para su recuperación, y en algunos casos no son renovables.

Debe subrayarse que la actividad recicladora en Argentina está siendo desarrollada a través de emprendimientos que responden a necesidades de la sociedad, el mercado y la promoción del reciclado por parte de la normativa internacional, nacional, provincial y municipal. Estas acciones colaboran con el objetivo de resolver algunos de los problemas más acuciantes de nuestro tiempo, como lo es el impacto negativo del uso intensivo de recursos naturales escasos (Devia, 2013).

Conocer el mercado del reciclaje es ampliamente aceptado y recomendado por los organismos internacionales como la Organización de las Naciones Unidas (ONU) a través del Programa del Medio Ambiente de las Naciones Unidas (PNUMA) y de la Agenda 21; por medio de estas gestiones, se postula

que esta actividad debe de estar presente en las acciones que se emprendan para que la preservación del medio ambiente sea sustentable.

Con el fin de generar información base que aporte al mejoramiento de la gestión de residuos sólidos urbanos en la ciudad, es que se desarrolla el siguiente estudio con la finalidad de obtener información de la dinámica y la organización del mercado de reciclaje de la ciudad capital de Santiago del Estero, así como analizar su potencial como generador de servicios ecosistémicos para la ciudad de Santiago del Estero.

Para proseguir con esta investigación, se realizaron algunas investigaciones como, por ejemplo, la caracterización de corrientes de residuos sólidos urbanos recuperados por el mercado de reciclaje en la ciudad de Santiago del Estero (Pintos et al., 2019b), en la que se aplicó una encuesta a recuperadores locales. Los resultados preliminares permitieron identificar una primera lista de dieciocho tipos de residuos sólidos reciclables recuperados en común, por las estaciones de acopio. Estos se distribuyen en cinco corrientes: papel, cartón, plástico, metal y vidrio. Las procedencias de los residuos que ingresan a las estaciones de acopio pueden ser del tipo posconsumo, cuyas fuentes principales de generación son domiciliarias, institucional y/o comercial.

Por otro lado, se encuentran los residuos que derivan de actividades posindustriales, provenientes de empresas que fabrican o envasan productos. El estudio concluye que el reciclaje es una opción válida y muy necesaria para el tratamiento de los residuos sólidos urbanos que han arribado al final de su vida útil. Con esta información, se expone la posibilidad de valorizar y conducir al circuito productivo una diversidad de residuos sólidos de diferentes fuentes a nivel local, evitando que estos lleguen a los sitios de disposición final (basural) de la ciudad.

Por otro lado, Pintos et al. (2019b) analizaron los tipos de

procesos productivos del mercado de reciclaje en la ciudad de Santiago del Estero. En este estudio se orientó el análisis a diferentes escalas de trabajo denominadas Escalas del Mercado de Reciclaje Local desarrollando bajo 4 escalas de trabajo:

ESCALA I: estaciones de acopio que compran y venden residuos sólidos reciclables sin enfardar al mercado de reciclaje local.

ESCALA II: estaciones de acopio que compran residuos sólidos reciclables, los enfardan y venden al mercado de reciclaje local.

ESCALA III: estaciones de acopio que compran residuos sólidos reciclables, los enfardan y venden al mercado de reciclaje nacional.

ESCALA IV: estación de acopio que compran residuos sólidos reciclables, los enfardan y en ocasiones trituran papel y plástico. Venden al mercado de reciclaje nacional.

Ante estos resultados preliminares, se puede inferir que el proceso productivo general del mercado de reciclaje se centra en la recuperación de residuos sólidos reciclables y comercialización final (Pintos *et al.*, 2019a). El material reciclable recibe solo acondicionamiento primario y se comercializa como materia prima con el mercado de reciclaje nacional, convirtiendo al mercado de reciclaje de la ciudad como un generador de servicio de recuperación de residuos sólidos reciclables y generación de trabajo.

## Conclusiones generales

Conocer la percepción de los servicios ecosistémicos por parte de los pobladores ayuda a planificar acciones referidas a producción y/o conservación de los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques, especialmente los de algarrobos, sean

plantados o naturales. Asimismo, la valoración de los servicios ecosistémicos ayuda a comprender la magnitud de la presencia o no de los recursos y la disponibilidad de los mismos para sus usuarios. Esa valoración y su percepción permiten orientar a los encargados de delinear políticas públicas tendientes a manejar recursos y los servicios ecosistémicos.

Con estas prácticas es posible valorar aspectos intangibles de los bosques pero que tienen una importancia vital en el desarrollo de las comunidades mediante el manejo de los recursos naturales y forestales desde la óptica de los servicios ecosistémicos.

No solo se pueden aplicar estas metodologías en lo referido al ámbito rural, sino que también es posible gestionar servicios ambientales o ecosistémicos en zonas urbanas mediante acciones que representen un manejo adecuado de los recursos, como pueden ser los residuos sólidos reciclables, que además pueden generar fuentes de ingresos a quienes los gestionen.

Estas prácticas colaboran en la educación ambiental de la sociedad, por eso deben adecuarse a contenidos de enseñanza en todos los niveles. Es necesario un mayor acercamiento de los académicos con sus resultados a la sociedad, que es la que necesita conservar los servicios ecosistémicos para disfrutar de las contribuciones de la naturaleza.

Observando a una escala de cuenca como aquella en la que se analizaron los servicios ecosistémicos en Monte Quemado, se identificó la relevancia del sector como proveedor de servicios ecosistémicos en términos de dinámica económica y social, se pudieron dimensionar las potencialidades productivas y ambientales y se fortalecieron los lazos de cooperación entre las instituciones. Estas características del sector presentes en la zona contradicen la histórica creencia de que la actividad forestal en bosques nativos fue y será siempre marginal, extractiva, degradadora y poco productiva.

Por otro lado, este estudio evidencia la escasa o nula consi-

deración por parte del Estado (provincial y nacional) como un sector productivo que verdaderamente contribuye a la economía regional y nacional, creando riqueza y empleo mediante un recurso noble y renovable.

En el ámbito urbano, las actividades realizadas por los recolectores y recicladores de residuos sólidos provenientes de las actividades económicas en la ciudad de Santiago constituyen un servicio ecosistémico que proporciona beneficios a la sociedad.

### **Agradecimientos**

Al técnico Fabián Zubrinic de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero por su aporte en la confección de los mapas.



## Bibliografía

- Abt, María; Basualdo, María; Carignano, Matías; Carignano, Guillermo; Cassino, Walter; Cisneros; Felipe; De Bedia, Gonzalo; Díaz, Franco; Manfredi, Rubén; Medina, Ariel; Navall, Marcelo; Merletti, Guillermo; Mónaco, Martín; Rosales Víctor; Sarmiento, Miguel.; Vera, Lucas y Verón Tito. (2016). "Acciones interinstitucionales para el Desarrollo de la Cuenca Foresto Industrial de Monte Quemado en Santiago del Estero Argentina". XXX Jornadas Forestales de Entre Ríos Concordia, septiembre de 2016.
- Arce, Leandro.; Lucero, A. y Bilela, P. (2014). "¿De productores agrícolas a forestales? El caso de Colonia El Simbolar departamento Robles, Santiago del Estero". *Revista Producción Forestal*. (10), pp. 12-15.
- Braier, Gustavo (2004). *Tendencias y perspectivas del sector forestal al año 2020, Argentina*. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Bruno, Carlos y Sarmiento, Miguel. (2017). "Percepción del ecosistema bosque y servicios ecosistémicos por actores locales de Colonia El Simbolar, Santiago del Estero, Argentina". Congreso Argentino de Ecología del Paisaje CAEP, UNSE.
- Cisneros, Felipe; Carignano, Matías; Rosales, Víctor Naval, Marcelo; Díaz, Franco; Abt, María; Cassino, Walter; Merletti, Guillermo; Sarmiento, Miguel; De Bedia Gonzalo; Mónaco, Martín; Medina, Ariel; Carignano, Guillermo y Verón, Tito (2016). "Plan de desarrollo para la Cuenca Forestoindustrial de Monte Quemado, Santiago del Estero Argentina". *Quipu Forestal*. (2), pp. 44-47.
- Daily, G. (1997). "Introduction: What are ecosystem services?" En Daily, C.G. (Ed.). *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems* (pp. 1-10). Washington, D.C. EE.UU.: Island Press.
- Daily, G. T. Söderqvist, S. Aniyar, K. Arrow y P. Dasgupta, (2000). "The value of nature and the nature of value". *Science*. (289),

- pp.395-396.
- De Bedia, Gonzalo; Navall, Marcelo y Ahuad, Luis. (19 de agosto de 2016). "Carbón Santiagueño: características de un mercado en crecimiento. *Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria* [en línea].
- Devia, L. (2013). "Núcleo Socio-productivo Estratégico Reciclado de Distintas Corrientes de Residuos". *Documento de referencia. Argentina Innovadora 2020. Plan nacional de ciencia, tecnología e innovación productiva (pp. 1-12). Ambiente y Desarrollo Sustentable*. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- FAO (2018). *El estado de los bosques del mundo. Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible*. Roma: FAO.
- Folke, C. (2006). "The economic perspective: conservation against development versus conservation for development". *Conservation Biology*. 20(3), pp.686-688.
- Giménez Ana y Moglia Juana. (2003). *Árboles del Chaco Argentino. Guía para el reconocimiento dendrológico*. Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable del Ministerio de Desarrollo Social de la Nación.
- González, G. (2010). *Residuos Sólidos Urbanos. Argentina. Tratamiento y Disposición Final. Situación actual y alternativas futuras*. Cámara Argentina de la Construcción.
- Jacobs, S et al. (2020). "Use your power for good: plural valuation of nature – the Oaxaca statement". *Global Sustainability*. (3), pp. 1–7.
- Kahn, J. (1995). *The economic approach to environmental and natural resources*. University of Tennessee. United States.
- Laurance, W. (2008). "When bigger is better: the need for Amazonian mega-reserves". *Trends in Ecology and Evolution*. (20), pp.645-648.
- MAYDS (febrero de 2017). *Relevamiento de precios de materiales reciclables*. Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- MEA (2005). *Millennium Ecosystem Assessment. Ecosys-*

- tems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Meléndez Ábalos, C. (2006). Estudio sobre el mercado potencial del reciclaje en el Salvador. Informe Final Proyecto Fortalecimiento de la Gestión Ambiental en El Salvador SLV/B7-3100/98/0232 UE-GOES El Salvador.
- Nahuelhual, L.; Donoso, P.; Lara, A.; Núñez, D.; Oyarzon C. y Meira E., (2007). "Valuing ecosystem services of Chilean temperate rainforest". *Environmental Development and Sustainability*. 9(4), pp. 481-499.
- Nepstad, D., C. Stickler, B. Soares-Filho y F. Ferry (2008). "Interactions among Amazon land use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point". *Phil. Trans. Royal Soc. B*. (363), pp. 1737-1746.
- Pérez, M.; Cuello, A.; Zampini, I.; Ordoñez, R.; Alberto, M.; Quispe, C.; Schmeda-Hirschmann, G. e Isla, M. (2014). "Polyphenolic compounds and anthocyanin content of *Prosopis nigra* and *Prosopis alba* pods our and their antioxidant and anti-inflammatory capacities". *Food Research International*. (64), pp. 762-771.
- Peri, Pablo; Martínez Pastur, Guillermo y Schlichter, Tomás. (2021). *Uso sostenible del bosque. Aportes desde la silvicultura argentina*. 1ª Edición especial. Ciudad autónoma de Buenos Aires: Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación.
- Pfeil, E. von y Sepp, C. (2008). *Gobernanza Forestal en un Mundo Rápidamente Cambiante: Desarrollo de Capacidades por la GTZ*. Eschborn: GTZ.
- Pintos, María. Bravo Julio y Sarmiento Miguel (2019a). "Tipos de procesos productivos del mercado de reciclaje en la ciudad de Santiago del Estero, Argentina". XIV Jornadas de Ciencia y Tecnología - Facultades de Ingeniería del NOA. 5 y 6 de septiembre en la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina.
- Pintos, María; Bravo Julio y Sarmiento, Miguel (2018). "Mercado del Reciclaje: Relevamiento de precios y Residuos

- sólidos reciclables, en la ciudad Capital de Santiago del Estero, Argentina". XIII Jornadas de Ciencia y Tecnología del NOA Organizado por CODINOA Facultad de Ciencias Forestales UNSE.
- Pintos, María; Bravo, Julio y Sarmiento, Miguel (2019b). "Caracterización de las corrientes de residuos sólidos urbanos recuperados por el mercado de reciclaje en la ciudad de Santiago del Estero". VIII Jornadas de Estudiantes y Jóvenes Investigadores JEyJI 2019. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.
- Riat, P. (2012). "Conocimiento campesino, el "monte santiagueño" como recurso forrajero". *Trabajo y Sociedad*. (19), pp. 447-491.
- Riera, P.; García, D.; Krinstron, B. y Brannlund, R. (2005). *Manual de Economía Ambiental y de los Recursos Naturales*. Madrid: Thompson Editores.
- Romero Amado, J.; López Toache, V. y Toache Bertolini, G. (2016). "Características del mercado de reciclaje en Guerrero. Aproximación a las empresas". *Revista Delos*. 9(27), pp. 5-19.
- Sarmiento, M. y Villarreal, M. (2015). "Principales limitaciones en la producción y comercialización de harinas de frutos del monte nativo en tres asociaciones de productores en Santiago del Estero, Argentina". Jornadas Interdisciplinarias de estudios Agrarios y Agroindustriales Argentinos y Latinoamericanos, Facultad de Ciencias Económicas, UBA.
- Sarmiento, M. (2012). *Desarrollo de un nuevo método de valoración ambiental*. Saarbruken Germany: Lambert Academic Publishing. LAP GMBH & Co. KG.
- Sarmiento, M. y Prieto, A. (2005). "Métodos de valoración ambiental: un nuevo método basado en la variación del Producto Interior Bruto". *CT-Catastro*. (53), pp. 69-101.
- Sarmiento, M., Bruno, C. y Guerrero Maldonado, N. (2020). "Advances in Determining the Value and Importance of Useful Plants for Rural Populations in Santiago del Estero, Argentina". *Modern Concepts and Development in Agronomy*. 6(4),

pp. 657-659.

- SAyDS (2003). *Atlas de bosques nativos*. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación.
- Sciammaro, L.; Ribotta, D. y C Puppo. (2016). "Traditional foods products from Prosopis sp. Flour". En K. Kristbergsson, J. Oliveira (eds.) *Traditional Foods, Integrating Food Science and Engineering Knowledge Into the Food Chain* (pp. 209-216). Boston, MA: Springer.
- Secretaria de Política Económica (noviembre de 2019). *Santiago del Estero. Informe productivo provincial*. Ministerio de Hacienda. Presidencia de la Nación.
- Senilliani, M.; Bruno, C. y Brassiolo, M. (2020). "Factores edáficos y su impacto dominante en plantaciones de Prosopis alba". *Madera y Bosques*. 26(3), pp. 1-13.
- TEEB (2010). *The Economics of Ecosystems and Biodiversity: Ecological and Economic Foundations*. London and Washington: Earthscan.
- UMSEF (2008). *Regiones Forestales en Argentina. Unidad de Manejo y Sistema de Evaluación Forestal*. Dirección de Bosques. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Jefatura de Gabinete de ministros de la Nación.



## PROPUESTAS DE USO SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS BOSCOSOS DE LA REGIÓN CHAQUEÑA SECA

JUANA GRACIELA MOGLIA<sup>1</sup>; JOSÉ DÍAZ ZIRPOLO<sup>2</sup>;  
ANA BELÉN CISNEROS<sup>3</sup>; VANINA CHIFARELLI<sup>4</sup>; DAMIÁN GONZÁLEZ<sup>5</sup>;  
MYRIAM ETHEL LUDUEÑA<sup>6</sup>; FEDERICO CALATAYÚ<sup>7</sup>

### Resumen

La degradación de los bosques implica un proceso de cambio que afecta negativamente las características de un bosque, de manera tal que el valor y la producción de bienes y servicios reducen su capacidad. Por eso, su evaluación es siempre complicada, ya que es un proceso multicausal y de intensidad va-

1 Directora del proyecto, Prof. Titular de Dendrología. FCF (UNSE).

2 Dr. Ing. Forestal. INSIMA. Laboratorio de Anatomía de Madera. FCF (UNSE). Prof. Adjunto Dendrología

3 Dr. Ing. Forestal. Instituto de Bionanotecnología del NOA (IN-BIONATEC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica

4 Ing. Forestal. FCF (UNSE).

5 Dr. Ing. Forestal. INSIMA. Cátedra Agrometeorología. FCF (UNSE).

6 Ing. Industrias Forestales. ITM. FCF (UNSE)

7 Ing. Forestal. INSIMA. Laboratorio de Anatomía de Madera. FCF (UNSE).

riable. Los bosques nativos de Argentina producen 4 millones de toneladas anuales de productos forestales, de los cuales un 75% proviene de tres de las once provincias que componen la Región Chaqueña: Chaco, Salta y Santiago del Estero. Entre las estrategias propuestas para la conservación de los bosques nativos pueden mencionarse las plantaciones forestales, las cuales deberían atender a mediano y largo plazo la demanda de la industria forestal, pues el estado actual de los bosques naturales no permite satisfacer eficientemente las necesidades de la industria, debido a la diversidad de dimensiones y calidades de madera que ofrece. La urgencia por revertir la deforestación, sumado a que prestan beneficios económicos a corto y medio plazo, ha dado lugar a programas de reforestación a cargo de los propios Estados nacionales y organismos internacionales. Producir madera de calidad para usos sólidos involucra estudiar la velocidad de crecimiento, la calidad del fuste y las propiedades de las maderas y de otros componentes del bosque para asignarles un uso adecuado. Parte del proyecto es integrar los resultados obtenidos durante toda la investigación previa, para hacer un análisis integral de los temas tratados individualmente. Así, el objetivo principal es evaluar las propiedades de los recursos boscosos del Parque Chaqueño Seco para optimizar su utilización a partir del estudio de la calidad de la madera, usos etnobotánicos, patrones ecoanatómicos, distribución espacial de los recursos y estado de degradación del bosque.

Palabras clave: Utilización sustentable; recurso; bosque; Chaco Seco



## Abstract

Forest degradation involves a process of change that affects negatively the characteristics of a forest in such a way that the value and production of goods and services reduces its capacity. Therefore, its evaluation is always complicated because it is a multi-causal and variable intensity process. Argentina's native forests produce 4 million tons of forest products annually, of which 75% comes from three of the eleven provinces that make up the Chaco region: Chaco, Salta and Santiago del Estero. Proposed strategies for the conservation of native forests include forest plantations, which should meet medium- and long-term demand from the forest industry, since the current state of the natural forests does not allow satisfying efficiently the needs of the industry, due to the diversity of dimensions and qualities of wood it offers. The urgency to reverse deforestation, added to the fact that they provide economic benefits in the short and medium term, has given rise to reforestation programs in charge of the national states and international organizations. Producing quality wood for solid uses involves studying the growth rate, the quality of the stem and the properties of the woods and other components of the forest to assign them an appropriate use. Part of the project is to integrate the results obtained during all the previous research, to make a comprehensive analysis of the topics treated individually. Thus, the main objective is to evaluate the properties of the forest resources of the Chaqueño Seco Park to optimize their use from the study of the quality of the wood, ethnobotanical uses, ecoanatomical patterns, spatial distribution of the resources and the state of forest degradation.

Keywords: Sustainable use; resource; forest; Dry Chaco

## Introducción general

De acuerdo con la FAO8 (2011), la degradación de los bosques implica un proceso de cambio que afecta negativamente a las características de un bosque, de manera tal que el valor y la producción de sus bienes y servicios declinan o reducen su capacidad.

En este contexto, la evaluación de la deforestación es siempre complicada porque la degradación forestal tiene muchas causas, se presenta en diferentes formas con intensidad variable y se percibe de manera diferente por las diferentes partes interesadas (FAO, 2011).

Los bosques nativos de Argentina producen 4 millones de toneladas anuales de productos forestales, de los cuales un 75% proviene de tres de las once provincias que componen la ecoregión chaqueña: Chaco, Salta y Santiago del Estero. De la producción en estas tres provincias, el 80% es leña utilizada para fabricar carbón o para consumo directo (Moglia *et al.*, 2017).

Del exhaustivo estudio realizado por el proyecto Evaluación de la Degradación de Tierras en Zonas Áridas (LADA) en 2003 (citado por Moglia *et al.*, 2017), la situación de desertificación en las tierras secas argentinas es grave y exige medidas urgentes para lograr su recuperación. Se asiste a procesos de pérdida de capital natural y social que solo pueden ser revertidos con una planificación y una gestión que respete esta biodiversidad regional.

Una de las estrategias de conservación de los bosques nativos propuestas por ciertos estudios y tendencias son las plantaciones forestales. Se puede sustituir madera proveniente de los bosques con madera producida en plantaciones forestales.

8 Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

De acuerdo con esta tendencia, la mejor forma de conservar los bosques no es impidiendo su uso sino sembrando y cultivando más. Las plantaciones forestales debieran atender a mediano y largo plazo la demanda de la industria forestal, ya que la composición de los bosques naturales no permite atender eficientemente las necesidades de la industria, debido a la diversidad de dimensiones y calidades de madera que ofrece (Baso López, 2004). La urgencia por revertir la tendencia a la deforestación, a la vez que se prestan beneficios económicos a corto y medio plazo, ha dado lugar a programas de reforestación a cargo de los propios Estados nacionales y de organismos internacionales.

Producir madera de calidad para usos sólidos involucra estudiar la velocidad de crecimiento, la calidad del fuste de los rollizos y las propiedades de las maderas y de los otros componentes del bosque para asignarles un uso adecuado.

En este contexto, el objetivo general fue evaluar las propiedades de los recursos boscosos del Parque Chaqueño Seco, con la finalidad de optimizar su utilización a partir del estudio de la calidad de la madera, usos etnobotánicos, patrones ecoanatómicos, distribución espacial de los recursos y estado de degradación del bosque (Figura 1).



Figura 1. Aspectos a evaluar durante el proyecto.

El objetivo de este grupo de trabajo es integrar y profundizar los conocimientos adquiridos, la formación académica y la trayectoria en investigación desde el campo de las ciencias agrarias y forestales, la etnobotánica, la dendrología y la ecología, para evaluar y realizar propuestas que permitan la optimización del uso de los recursos boscosos.

Las líneas de investigación abordadas en el presente capítulo fueron:

- a). Evaluación de la productividad y calidad de madera de especies de interés forestal para el bosque chaqueño.
- b). Posibles usos del recurso boscoso en función del tipo de bosque y patrones ecoanatómicos del leño vivo/muerto.

### Líneas de investigación

#### *a) Evaluación de la productividad y calidad de madera de especies de interés forestal para el bosque Chaqueño*

Con la finalidad de evaluar la productividad y calidad de madera en especies de interés forestal para el bosque chaqueño, se seleccionaron las especies algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.), eucalipto (*Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.) y palo santo (*Bulnesia sarmientoi* Lorentz ex Griseb.). Dicha selección surgió debido a que se trata de especies que crecen en diversos ambientes y poseen usos variados que incluyen madera para la industria, aceites esenciales, construcciones y combustible, entre otros. Sobre ellas se evaluaron diferentes aspectos estructurales y anatómicos mediante diferentes análisis.

## El color en la madera del algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.)

El color de la madera es un criterio importante para el usuario final, especialmente para productos de madera para interiores, como pisos o muebles (Baar *et al.*, 2014). La amplia variación del color de la madera entre árboles y dentro del mismo árbol se considera un problema de mercado, específicamente en aquellos donde la consistencia es importante (Bradbury *et al.*, 2010). El color puede verse alterado por distintos factores (Moya *et al.*, 2012; Moya y Berrocal, 2010), incluyendo rasgos como edad del árbol, tratamientos silvícolas, tipo de suelo y medio ambiente (Sotelo Montes *et al.*, 2008; Atayde *et al.*, 2011; Moya y Calvo-Alvarado, 2012; Cisneros *et al.*, 2019).

*Prosopis alba* es bien conocida en el mercado de la madera por su durabilidad y excelentes propiedades mecánicas y estéticas (Cisneros y Moglia, 2017). En Argentina, la Ley 25.080, promueve plantaciones con especies del género *Prosopis*, desde 1999. En la actualidad, el mayor volumen de madera extraída en *Prosopis alba* sigue siendo de ambientes nativos, con un valor aproximado de 200.000 m<sup>3</sup> (Verga, 2000).

Uno de los objetivos que planteó el proyecto de investigación fue estudiar la variación del color del duramen de *Prosopis alba* mediante parámetros colorimétricos, para establecer diferencias probables entre plantación y rodal natural.

El área de estudio fue en la región del Chaco semiárido (Figura 2), el cual se caracteriza por bosques abiertos xerofíticos y mayormente de hojas pequeñas, donde existen las comunidades de algarrobos entre ellos *Prosopis alba* (algarrobo blanco). Particularmente, se utilizaron 24 árboles de *Prosopis alba* provenientes de 4 sitios de estudio, con 6 individuos por sitio, ubicados en 3 provincias del Centro Norte de Argentina (Villa Ángela, provincia del Chaco; Los Arias y San Isidro, provincia de Santiago del Estero e Isla Cuba, provincia de Formosa). Para la determinación del color de la madera se utilizó el método

CIELAB 1976 (Cisneros, 2019); la medición se efectuó en el Laboratorio de Anatomía de Madera de la Universidad Federal de Paraná, Curitiba, Brasil, en el marco de un convenio de cooperación.

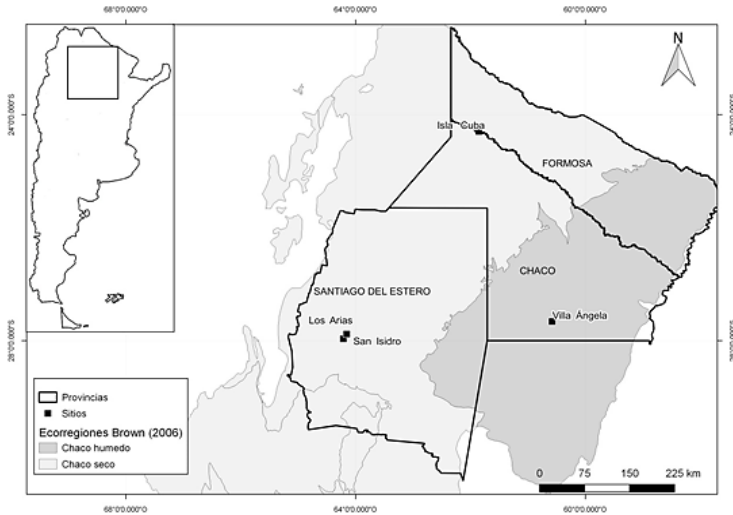


Figura 2. Sitios de estudio de las poblaciones de *Prosopis alba* en la Región Chaqueña argentina. Fuente: Autor (2020)

El color del duramen en *Prosopis alba* se presenta en la Tabla 1; en general se obtuvo que para todos los sitios, las coordenadas  $L^*$  y  $b^*$  son responsables de la formación del color de las maderas. Además, se pudo apreciar que las muestras de Santiago del Estero fueron las de mayor claridad ( $L^*$ ): la coordenada  $a^*$  mantuvo similares niveles entre los distintos sitios, mientras que el parámetro  $b^*$  fue más elevado y de mayor variación que el  $a^*$ . En este trabajo se observó que la principal variable colorimétrica es coordenada  $b^*$  (coloración amarilla), puesto que presenta valores más elevados y afecta directamente a la satu-

ración (C) y ángulo de tinta (h). Macroscópicamente, y siguiendo la tabla de colores propuesta por Camargos y González (2001), se observa que las muestras en los sitios de Santiago del Estero (Los Arias y Villa Ángela) tienen una tonalidad rosa grisácea, marrón claro en el Chaco (Villa Ángela) y oliva en Formosa (Isla Cuba) (Figura 3).

Sitio	Rasgo colorimétrico				
	L*	a*	b*	C	h°
Isla Cuba	52,22 (8,36)	9,50 (13,11)	16,75 (12,85)	19,26 (12,51)	60,41 (3,01)
	[42,48-62,68]	[6,63-13,43]	[10,69-22,38]	[12,58-25,64]	[55,34-63,99]
Los Arias	55,04 (7,30)	10,60 (8,87)	18,76 (9,73)	21,55 (9,05)	60,48 (2,86)
	[41,19-64,28]	[7,56-13,54]	[12,30-22,66]	[14,44-26,11]	[54,88 64,98]
San Isidro	56,66 (7,45)	9,87 (9,46)	17,86 (10,39)	20,41 (9,56)	61,00 (3,37)
	[43,61-63,94]	[7,31-13,16]	[12,52-21,70]	[14,62-25,05]	[50,50-64,83]
Villa Ángela	53,62 (7,56)	10,25(11,87)	17,09 (12,34)	19,94 (11,93)	59,01 (2,53)
	[37,97-62,72]	[7,25-14,03]	[11,71-22,49]	[13,77-26,51]	[55,14-66,32]

Los valores entre paréntesis son el coeficiente de variación en %; valores entre corchetes son mínimos y máximos.

Tabla 1. Valores medios de los parámetros colorimétricos del duramen de las muestras de *Prosopis alba* Griseb. en los 3 rodales semilleros y la plantación n = 480

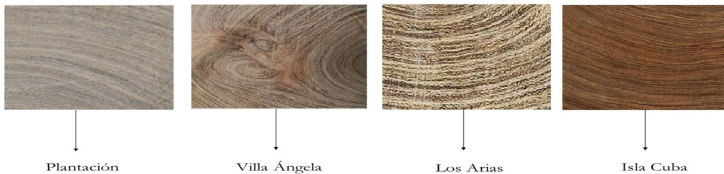


Figura 3. Variabilidad de color entre muestras de duramen de *Prosopis alba* de diferentes sitios de la Región Chaqueña argentina.

En cuanto a la variación total de la coloración ( $\Delta E^*$ ), determinada por  $\Delta E^* = \sqrt{\Delta L^{*2} + \Delta a^{*2} + \Delta b^{*2}}$ , se tienen en cuenta las diferencias de las coordenadas cromáticas y de luminosidad. Se determinó que valores negativos de  $\Delta L^*$  (Tabla 2) indican un oscurecimiento en las superficies de las muestras de todos los rodales naturales, respecto a la madera de plantación. La luminosidad disminuyó en mayor medida en las muestras de la Localidad de Isla Cuba ( $\Delta L = -3,26$ ) y alcanzó los niveles más oscuros seguido de Villa Ángela, mientras que en el rodal nativo de Santiago del Estero (Los Arias) este rasgo presentó las diferencias más bajas; esas diferencias fueron más acentuadas en la sección transversal para todos los sitios (Figura 4A). Esto puede deberse a que en sección transversal la reflectancia de las muestras entre los 400 a 720 nm es menor que en sección lateral (Figura 4B), posiblemente ya que en sección transversal, según Nishino et al. (2000), las células de la fibra puede disminuir la luminosidad, debido a sustancias presentes en las paredes de las células y características anatómicas de cada plano. Por su parte, Gonçalez et al. (2001) mencionan que en la sección transversal la presencia de los anillos de crecimiento aumenta el nivel de gris, haciendo que haya una disminución de la luminosidad ( $L^*$ ) y de los matices responsables de las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ ; esto genera madera más oscura en rodales nativos. Las variaciones en los pigmentos rojo y amarillo ( $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$ , respectivamente) entre rodales nativos versus plantación tuvieron un rango entre -2 y +2 en todos los sitios.



Sección	Par	Diferencias				Clasificación de Hikita et al. (2001)
		$\Delta L^*$	$\Delta a^*$	$\Delta b^*$	$\Delta E$	
Sección lateral	Isla Cuba x plantación	-3,26	-0,44	-0,96	6,01	Muy apreciable
	Los Arias x plantación	-1,25	0,91	1,3	5,04	Apreciable
	Villa Ángela x plantación	-2,81	0,8	-0,67	5,81	Apreciable
Sección transversal	Isla Cuba x plantación	-5,62	-0,29	-1,26	7,58	Muy apreciable
	Los Arias x plantación	-2	0,55	0,5	6,11	Muy apreciable
	Villa Ángela x plantación	-3,28	-0,03	-0,86	6,14	Muy apreciable

Tabla 2. Valores de diferencia de color utilizando parámetros CIELab entre rodales naturales y madera de plantación de *Prosopis alba*, en la Región del Chaco semiárido. n = 1140, valores promedios entre sección transversal y lateral

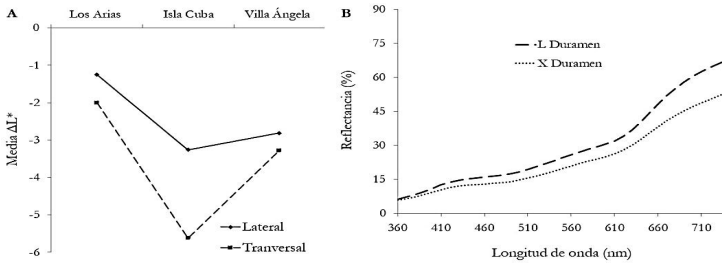


Figura 4. A. Curvas de variación de luminosidad en las secciones lateral y transversal de rodales nativos (Los Arias, Villa Ángela e Isla Cuba) respecto a la plantación (San Isidro). B. Curvas de reflectancia del duramen en el espectro visible para los distintos sitios de estudio, en sección L: lateral y en sección X: transversal.

En los tres rodales naturales, los cambios en el color respecto a la madera de plantación fueron clasificados como muy apreciable para el ojo humano, de acuerdo con el rango de valores elaborado por Hikita *et al.* (2001). En todos los rodales el cambio de color fue debido principalmente a disminución de la luminosidad  $L^*$ ; los sitios de Isla Cuba y Villa Ángela tuvieron las mayores variaciones en la coloración, sobre todo en sección lateral con  $\Delta E = 17,77$  y  $17,29$ , respectivamente (Figura 5). Cambios apreciables a muy apreciables en el color también fueron reportados por Arce y Moya (2015) en clones de *Tectona grandis* (teca) con respecto al color natural de la teca que crece en los bosques nativos con variaciones promedio del color entre 9 y 16, similares a las variaciones observados en el presente trabajo. Otros autores como Moya y Marín (2011) reportaron, para la misma especie en clones de 10 años, variaciones muy altas del color ( $\Delta E^*$ ) respecto a la madera de los árboles de crecimiento natural con valores entre 15,97 y 23,39. Por su parte, Voss y Hale (1998) han establecido que el ojo humano puede percibir una diferencia de color ( $\Delta E^*$ ) mayor que 2. Sotelo Montes *et al.* (2008), en ensayos de *Calycophyllum spruceanum* (Benth.) Hook. f. ex K. Shum., mostraron que la variación en el color de la madera no fue significativa en distintas zonas de plantación y tuvieron valores promedio de  $\Delta E = 13$ . En el presente trabajo las variaciones de los parámetros colorimétricos ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ) y la variación del color ( $\Delta E$ ) no resultó significativo entre sitios.

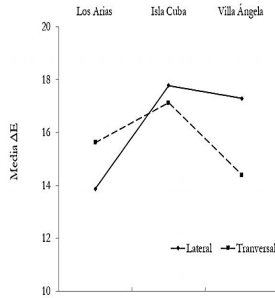


Figura 5. Curvas de variación total del color en las secciones lateral y transversal de rodales nativos respecto a la plantación.

Las variaciones de color entre los rodales nativos y las plantaciones fueron de apreciables a muy apreciables para el ojo humano. Por lo tanto, dependiendo de la procedencia de la materia prima y de las preferencias del mercado, se podrían generar lotes de maderas más homogéneos.

### La Densidad básica como variable de calidad de madera

Durante las últimas décadas, el sector forestal en Santiago del Estero adquirió mayor relevancia dentro de las actividades productivas de la provincia. En principio, comenzó con la implantación de especies nativas, principalmente *Prosopis alba*, en lugares desmontados sin aptitudes agrícolas; luego, en el año 2007, con la implementación a nivel nacional de la Ley 26331 (Presupuestos mínimos de protección ambiental de los bosques nativos), continuó con la conservación de los recursos naturales mediante el uso apropiado y, posteriormente, se incorporaron las prácticas de manejo de bosques con ganadería integrada (MBGI). Si bien estas actividades son importantes

para el sector, una alternativa interesante sería la implantación de especies exóticas de rápido crecimiento, no solo para tener turnos de aprovechamientos más cortos y así posibilitar un abastecimiento continuo de madera, sino también para diversificar la producción local.

Entre las especies que reúnen estos requisitos, el *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh es considerado un material valioso por su facilidad para propagarse, buen crecimiento, adaptabilidad y tolerancia a las condiciones edafoclimáticas de la región.

Sin embargo, la utilización de esta especie depende de un adecuado conocimiento sobre su comportamiento productivo y tecnológico, ya que uno de los inconvenientes que presenta es la baja calidad de madera producida por el alto porcentaje de leño juvenil. Este tipo de madera juvenil origina gran variabilidad de sus propiedades anatómicas, físicas y mecánicas aun dentro del mismo árbol (Baptista *et al.*, 2018).

Las características que establecen la calidad de una madera son numerosas, pero sin duda la densidad básica es considerada una de las variables más importantes debido a su estrecha relación con la mayoría de las propiedades físicomecánicas (Navarrete *et al.*, 2009).

El objetivo de este estudio es caracterizar el comportamiento de la madera a través de la densidad básica y conocer su variabilidad interna según su distancia a la médula en diferentes materiales genéticos de *Eucalyptus camaldulensis*.

### Área de estudio y muestreo

El material empleado proviene de un ensayo de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* constituido por 13 procedencias australianas, una africana y 2 testigos de semillas comerciales, que totalizan 104 familias de polinización abierta. El año de implantación fue 1996, en la localidad de El Zanjón, Santiago

del Estero (27° 46' Latitud S.; 64° 18' Longitud W.) (Figura 6). Este ensayo presenta un diseño experimental en bloques de familias compactos con 4 repeticiones, subparcelas lineales de 5 plantas y bordura perimetral simple (López, 2004).



Figura 6. Localización del ensayo genético de *Eucalyptus camaldulensis*.

Se utilizaron 29 individuos seleccionados por medio de un ranking elaborado a partir del mérito genético obtenido con base en el valor DAP y densidad estimada indirectamente con pilodyn (instrumento que actúa al penetrar una aguja de acero por impacto en la madera a una velocidad constante), mediante índices de selección (González *et al.*, 2011) y las mejores características fenotípicas (forma y altura) dentro de las familias que integraban dichos índices.

Para obtener las muestras, se tomaron trozas de 1,2 m a partir del DAP (1,3 m del nivel del suelo) y se procedió a la extracción de probetas de ensayo según el esquema de la Figura 7.

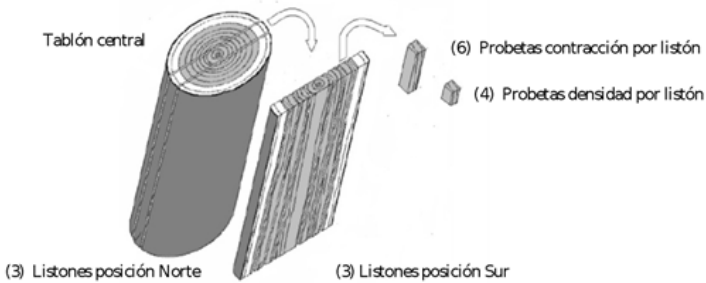


Figura 7. Esquema de extracción de muestras.

### *Elaboración de probetas y determinación de densidad básica*

Las trozas se trasladaron al ITM (Instituto de Tecnología de la Madera), perteneciente a la Facultad de Ciencias Forestales de la UNSE, donde se aserraron en tablones centrales con orientación norte-sur, tomando en cuenta la orientación de los anillos de crecimiento y siguiendo los procedimientos establecidos en la norma internacional ISO 3129. A efectos de cuantificar la variación en sentido radial y tomando en cuenta la orientación de los anillos, se extrajo de cada tablón 6 listones de posiciones equidistantes en dirección médula-corteza (interna, media y externa): 3 de orientación norte y 3 en sentido sur (Figura 8 A y B). Las dimensiones de las muestras fueron de 2 x 2 x 2 cm, y se seleccionaron 4 probetas libre de defectos por listón (repeticiones) totalizando 24 muestras por árbol.



Figura 8. A. Transformación de trozas en tablones centrales de dirección norte-sur. B. Elaboración de listones para obtención de probetas en diferentes posiciones radiales.

### *Determinación de la densidad básica*

Para establecer esta propiedad se determinó el volumen saturado ( $\text{cm}^3$ ) y el peso seco (g) de las muestras.

La fórmula utilizada en el cálculo fue la siguiente:

$$\rho_b = \frac{M_s}{V_u}$$

donde:

- $\rho$  Densidad básica
- $M_s$  Peso de la muestra seca
- $V_u$  Volumen en estado saturado

El peso seco fue determinado mediante el secado de las muestras en estufa a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  hasta alcanzar peso constante (Figura 9-A). Se considera que llega a este estado cuando la variación en el peso entre pesadas sucesivas realizadas en un intervalo de seis horas es menor a 0,01 g.

El volumen verde (saturado) se determinó por el método de desplazamiento de agua, donde se mide el volumen de la probeta de madera en función del peso del líquido desplazado por su inmersión. Para esto, se sumergieron totalmente las probe-

tas en un recipiente de vidrio con agua colocada en una balanza electrónica (con precisión de 0,001g) (Figura 9-B). El peso señalado por la balanza es el volumen en  $\text{cm}^3$  de la probeta.



Figura 9. A. Obtención de peso seco mediante secado de muestras en estufa. B. Determinación de volumen verde de las muestras.

El procesamiento de los datos se efectuó mediante el paquete estadístico INFOSTAT (Di Rienzo *et al.*, 2015). El análisis se realizó con modelos lineales generales y mixtos.

Como parte de los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 3 los valores medios de densidad básica (DB) y sus variaciones en dirección radial para la madera de *Eucalyptus camaldulensis*.

Propiedad	Posición médula-corteza	Estadísticos Descriptivos				
		Media	Sd	CV	Min	Max
Densidad básica	Interna	0,59	0,07	11,75	0,45	0,82
	Media	0,67	0,07	10,64	0,52	0,90
	Externa	0,72	0,06	8,20	0,58	0,87
Promedio General		0,66	0,08	12,79	0,45	0,90

Tabla 3. Estadísticos descriptivos para la densidad básica según posición radial al tronco



Las muestras presentaron un promedio general de DB de 0,66 g/cm<sup>3</sup> con valores de 0,59 gr/cm<sup>3</sup> para la posición interna; 0,67 gr/cm<sup>3</sup> media y 0,72 gr/cm<sup>3</sup> externa.

Estos resultados son similares a los encontrados por Moglia *et al.* (2010) de 0,64 gr/cm<sup>3</sup> para el mismo ensayo genético cuando las procedencias tenían 9 años de edad. López (2003), a su vez, reportó valores ligeramente superiores a 0,69 g/cm<sup>3</sup>, mientras que los obtenidos por Cruz (2003) para esta especie en árboles de 25 años de edad fueron de 0,64 g/cm<sup>3</sup>.

En la Tabla 3 se observa además que la DB promedio puede tomar valores de 0,45 gr/cm<sup>3</sup> como mínimo hasta 0,90 gr/cm<sup>3</sup>, con lo que pone en evidencia cierta heterogeneidad en las muestras analizadas a pesar de mantener un coeficiente de variación aceptable, según Oliveira y Silva (2003), para la propiedad estudiada.

La variación en la posición radial (médula-corteza) de la DB presenta una tendencia ascendente hacia la corteza que se muestra en la Tabla 3. Esta tendencia es confirmada mediante el análisis de variancia realizado bajo modelos lineales generales y mixtos, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas entre las densidades promedio en función de la posición radial de las probetas ( $p < 0,0001$ ), con mayor valor promedio para las probetas de la posición externa (Figura 10), de acuerdo con la diferencia de medias de Fisher (LSD Fisher).

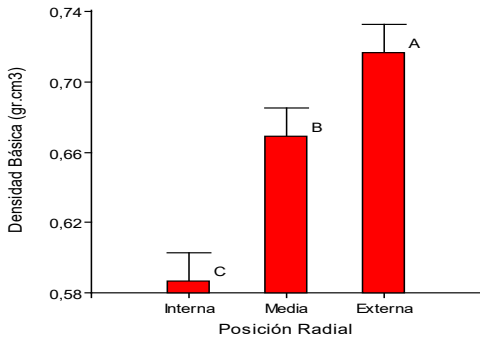


Figura 10. Prueba de hipótesis sobre diferencia de medias para la densidad básica según posición radial médula-corteza.

Este modelo de variación es sugerido por varios autores para la madera de diferentes especies de eucalipto (Ferreira, 1972; Tomazello Filho, 1985; López y Staffieri, (2003); Mantero *et al.*, 2014 y Arantes *et al.*, 2016).

Al presentar los valores promedios para la DB según procedencias y posición radial médula-corteza (Tabla 4), se observa que la procedencia genética A presenta el valor mayor de DB promedio de 0,75 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el menor corresponde a la B con 0,61 gr/cm<sup>3</sup>.

En la Tabla 4 se advierte además la tendencia ascendente de la densidad hacia la corteza, a excepción de las procedencias I y LL, en las que el mayor valor corresponde a la posición media del tronco. Tomazello Filho (1985) observó en *Eucalyptus grandis* un comportamiento de variación comparable al ocurrido en estas procedencias. López (2003) evidenció también valores de DB más altos en la parte intermedia del árbol que cerca de la médula o de la corteza en la madera de *E. camaldulensis*, y sugiere que dicho resultado podría deberse a la cantidad de extractivos presentes en la madera, ya que las probetas para la evaluación de la densidad en la parte exterior

fueron en su mayoría de albura y la albura, por lo general, tiene menor cantidad de extractivos.

Propiedad	Posición	Estadísticos descriptivos	Procedencia														
			A	B	C	D	G	I	K	LL	M						
Densidad básica	Interna	media	0,68	0,53	0,61	0,58	0,61	0,63	0,56	0,61	0,55						
		sd	0,08	0,04	0,06	0,03	0,05	0,01	0,06	0,06	0,05	0,05					
		CV	11,03	8,19	9,65	5,41	8,44	1,54	10,83	9,88	8,39						
		Min	0,53	0,45	0,52	0,52	0,52	0,6	0,48	0,52	0,49						
		Max	0,82	0,64	0,71	0,65	0,66	0,64	0,63	0,69	0,61						
		media	0,75	0,61	0,69	0,65	0,68	0,72	0,6	0,72	0,65						
	Media	sd	0,08	0,04	0,03	0,04	0,05	0,04	0,04	0,08	0,08						
		CV	10,54	7,21	4,08	6,88	7,64	5,38	6,5	11,66	11,9						
		Min	0,63	0,52	0,64	0,57	0,58	0,64	0,54	0,61	0,56						
		Max	0,9	0,7	0,77	0,74	0,73	0,77	0,68	0,81	0,76						
		media	0,82	0,68	0,74	0,69	0,71	0,71	0,69	0,69	0,73						
		sd	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,06	0,01	0,04	0,06						
Externa	CV	5,45	6,32	5,2	6,03	2,71	7,97	1,67	5,26	8,43							
	Min	0,74	0,58	0,66	0,6	0,68	0,62	0,66	0,65	0,66							
	Max	0,87	0,77	0,82	0,75	0,75	0,78	0,72	0,74	0,82							
Densidad Promedio		0,75	0,61	0,69	0,64	0,67	0,69	0,62	0,67	0,64							

Tabla 4. Estadísticos descriptivos para la densidad básica de la madera en función de sus procedencias

Del análisis de los valores para encontrar el mejor predictor lineal insesgado (BLUP) de los efectos aleatorios surge el ranking de DB para las mejores procedencias (Tabla 5). Se observa que las procedencias A, C, I, LL y G superan el valor promedio de esta propiedad.

Procedencias									
DB	A	C	I	LL	G	M	D	K	B
BLUP	0,06	0,02	0,01	0,01	2,10E-03	-0,01	-0,02	-0,03	-0,04

Tabla 5. Coeficientes (BLUP) de los efectos aleatorios procedencias para la densidad básica

## Aprovechamiento forestal de *Gonopterodendron sarmientoi*: Tiempo de rotación

### Introducción

En este estudio se determinó la edad y el tiempo de rotación de *Gonopterodendron sarmientoi*, por sitio, para identificar las zonas más favorables de desarrollo de la especie. Además, se determinó el espesor medio, la variación y evolución, el incremento medio y corriente anual del diámetro a la base en función de todas las localidades para una visión global del comportamiento de la especie. Las localidades de estudio fueron Las Lomitas, Las Hacheras, Ingeniero Juárez y Rivadavia. Para calcular el tiempo de tránsito por clase diamétrica, se empleó la curva de espesor de anillos promedio y a partir de ella se estableció el número de años que tarda en pasar de una clase a otra.

## Metodología

El estudio se ubica en cuatro sitios dentro de la zona de distribución de *Gonopterodendron sarmiento* en el noreste argentino: el Paraje Las Hacheras, departamento Güemes, provincia de Chaco; Localidad Las Lomitas, departamento Patiño, provincia de Formosa; Localidad Ingeniero Guillermo N. Juárez, departamento Matacos, provincia de Formosa y en Rivadavia, provincia de Salta; con esta distribución de sitios se abarca un amplio gradiente climático en cuanto a precipitaciones.

Se seleccionaron 35 muestras exploratorias, árboles sanos adultos, sin daños visibles, de fuste recto. Los ejemplares seleccionados corresponden a los árboles dominantes debido a su sensibilidad en respuesta a los factores del ambiente. Se seleccionaron cinco árboles en Ingeniero G. Juárez (Formosa), diecisiete árboles en Las Lomitas (Formosa), seis árboles en Rivadavia (Salta) y siete árboles en Las Hacheras (Chaco). Las diferencias en el número de muestras por sitio se deben al hecho de que la extracción de *Gonopterodendron sarmiento* está restringido por ley, por lo tanto, el material proviene de aserraderos del área de estudio y campos privados.

Una vez obtenidas las muestras (rodajas de 20 cm de espesor) a 0,30 m de altura (Figura 11), se trabajaron utilizando el protocolo del Laboratorio de Anatomía de la Madera (LAM) de la Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, método que consta en el uso de cepilladora, lijadora de banda y orbital con juego de lijas de granulometría de 600 a 100, hasta tener una superficie lisa; este método basado en Helinska et al. (1991) posibilita la identificación, de manera precisa, de los anillos que sean difíciles de visualizar por su tamaño y anatomía (Giménez et al., 2007). En cada muestra se marcaron cuatro radios para evitar los falsos anillos y minimizar el error, y se obtuvo un promedio. El conteo se realizó desde la médula a la corteza para saber la edad de cada

individuo y se midió el espesor de los anillos para el estudio del crecimiento. Las mediciones se efectuaron con el programa Image-Pro Plus®, software usado para la manipulación, tratamiento y análisis de imágenes.

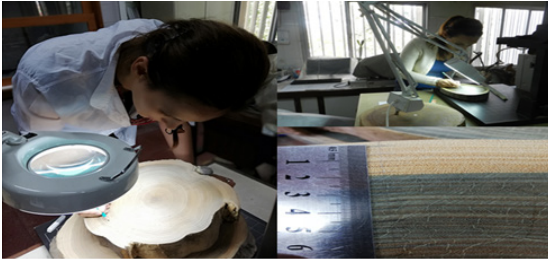


Figura 11. Conteo y medición del espesor de los anillos de crecimiento.

### Resultados y discusión

El espesor medio de los anillos es de 3,03 mm (Figura 12). La variación del diámetro medio de *Gonopterodendron sarmientoi*, en función de la edad de los 35 individuos muestreados, determinó un ciclo de corta a los 61 años a un DAB de 350 mm.

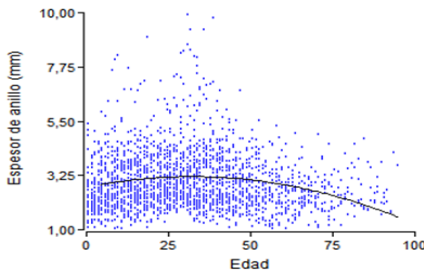


Figura 12. Evolución del espesor de los anillos de *Gonopterodendron sarmientoi*.

En la Figura 13 se puede apreciar, para una mejor comprensión de todo lo nombrado anteriormente, las curvas promedio suavizadas de incrementos en diámetro en función de la edad en los cuatro sitios de muestreo (Rivadavia, Las Lomitas, Las Hacheras e Ingeniero Guillermo N. Juárez).

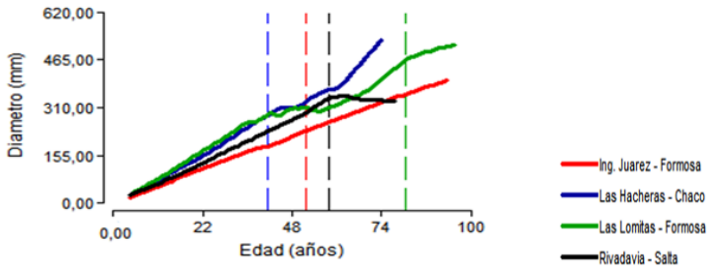


Figura 13. Evolución del diámetro en función de la edad en los cuatro sitios de muestreo (Rivadavia, Las Hacheras, Las Lomitas e Ingeniero Juárez).

El lugar de mayor crecimiento dentro de los dos mejores lugares según estudio es las Hacheras, en donde el incremento radial es mayor que en las demás zonas y presenta la edad de corta a los 40 años estimados, en tanto que en Las Lomitas se observa que el incremento corriente anual asciende de manera constante y alcanza la edad de corta a los 81 años a un diámetro de 52 cm.

*Cálculo del tiempo de tránsito y edad que tardan en pasar a cada clase diamétrica*

Para calcular el tiempo de tránsito por clase diamétrica, se

empleó la curva de espesor de anillos promedio y, a partir de ella, se estableció el número de años que tarda en pasar de una clase a otra. Para esto, se calculó un ciclo de corta de 41 años, con un tiempo de tránsito de 17 años tomando en cuenta todas las zonas, como lo muestra la tabla 6 y los gráficos de Figura 14.

LOCALIDAD	CICLO DE CORTA	TIEMPO DE TRÁNSITO
Las Lomitas	39 años	15 años
Ingeniero Juárez	39 años	23 años
Las Hacheras	38 años	16 años
Rivadavia	38 años	18 años
Tolos los sitios	41 años	17 años

Tabla 6. Ciclo de corta y tiempo de tránsito de Las Lomitas, Ing. Juárez, Las Hacheras, y Rivadavia

En este promedio se consideraron los intervalos de las 7 clases diamétricas estudiadas: < 5 cm, 5 a 10 cm, 10 a 20 cm, de 20 a 30 cm, de 30 a 40 cm, de 40 a 50 cm y de 50 a 60 cm.

De acuerdo con otros investigadores, teniendo en cuenta el diámetro mínimo de corta (DMC) de 35 cm (80+/- 5 años), se limitó la extracción a únicamente trozas de grandes volúmenes, lo cual no garantiza la sustentabilidad del recurso (Gasparri *et al.* 2003). Según el ordenamiento territorial en el país (Piquer-Rodríguez *et al.*, 2015) y las normativas del apéndice II para el comercio internacional de palo santo (CITES), solo han sido posible extracciones de madera de *Gonopterodendron sarmientoi* provenientes de planes de manejo sustentables a partir de 2013 (Waller, 2009; SAyDS, 2013). Esta investigación determina que se alcanza el diámetro mínimo de corta a una menor edad de la que establece la ley cuando el individuo llega al DMC (diámetro mínimo de corta).



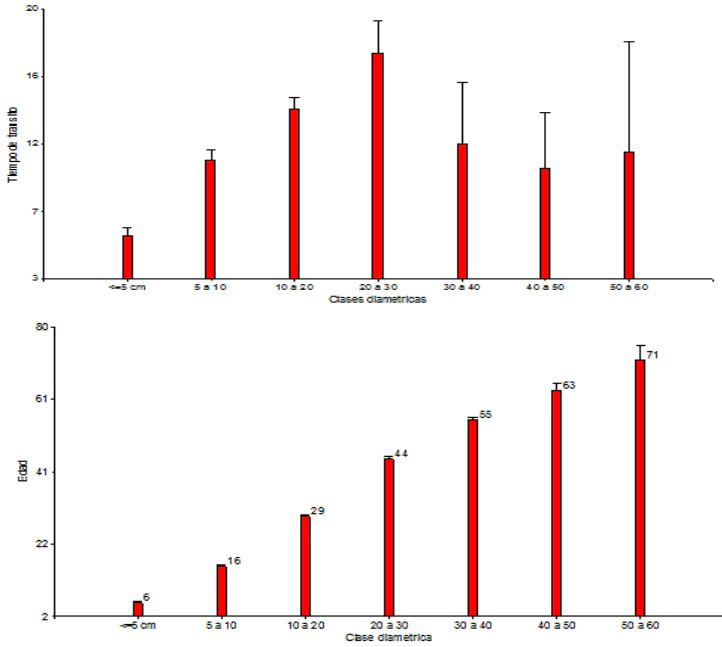


Figura 14. Tiempo de tránsito en años y la edad en función de la clase diamétrica de las tres provincias muestreadas (Chaco, Formosa y Salta).

### Conclusiones

La localidad de Ingeniero G. Juárez reporta el mayor tiempo de tránsito, es decir, necesita más años que los demás sitios para que los individuos pasen de una clase diamétrica a otra.

Las Hacheras es el sitio que alcanza 37 cm de DAB en menos tiempo, seguido de Las Lomitas, Rivadavia e Ingeniero G. Juárez.

Este estudio determinó que se puede obtener el diámetro

mínimo de corta a una menor edad de lo reportado por la ley vigente 22.344.

Poder conocer la edad corta y el tiempo de rotación de *Gonopterodendron sarmientoi* permitirá realizar aprovechamientos adecuados.

## **b) Posibles usos del recurso boscoso en función del tipo de bosque y patrones ecoanatómicos del leño vivo/muerto**

### **Cuantificación de stock de carbono en madera muerta**

#### *Introducción*

La madera muerta (MM) se refiere a toda la biomasa leñosa muerta que no forma parte de la hojarasca, ya sea en pie, que yace en la superficie, las raíces muertas y los tocones de un diámetro igual o superior a 10 cm, o cualquier otro diámetro utilizado por el país. Cada país puede utilizar otro valor límite, que no sea de 10 cm, pero en ese caso, el valor límite utilizado debe ser documentado (FAO, 2005).

Los bosques producen naturalmente restos de madera, principalmente, en forma de árboles muertos en pie, troncos caídos y ramas grandes. Esto se debe a la senescencia de estos y a la acción de los factores relacionados con el clima y el suelo, entre otros. La actividad humana, especialmente la explotación forestal, planificada o no, se considera un factor relevante para la generación de MM en el bosque (Díaz Zirpolo, 2017).

La MM constituye un componente básico en la estructura y funcionamiento de cualquier ecosistema forestal, y una importante reserva de carbono (Baker *et al.*, 2007; Chao *et al.*, 2009). A su vez, representa un 14 a 40% del reservorio total en

los ecosistemas boscosos, y sus flujos de productividad y descomposición determinan el reciclado de carbono en el ecosistema (Zaninovich, 2017).

Al ser un componente importante en el secuestro de carbono que ocurre en los bosques, la cuantificación de MM procedente de los inventarios forestales se vuelve cada vez más importante debido a su fuerte conexión con el efecto invernadero y el cambio climático (Smith, 2004), con lo que constituye un atributo esencial para el manejo forestal.

Actualmente, a nivel mundial, existe una tendencia a modificar y complementar los inventarios forestales tradicionales con relevamientos de nuevos aspectos relacionados a la gestión forestal sostenible y multifuncional, como ser la MM.

En este contexto, el objetivo fue cuantificar y evaluar el contenido de carbono orgánico en la MM presente en bosques del Chaco Seco.

### *Áreas de estudio*

El estudio se realizó en los departamentos Copo, Avellaneda y Guasayán de la provincia de Santiago del Estero, perteneciente al Distrito Chaqueño Occidental (Figura 15).

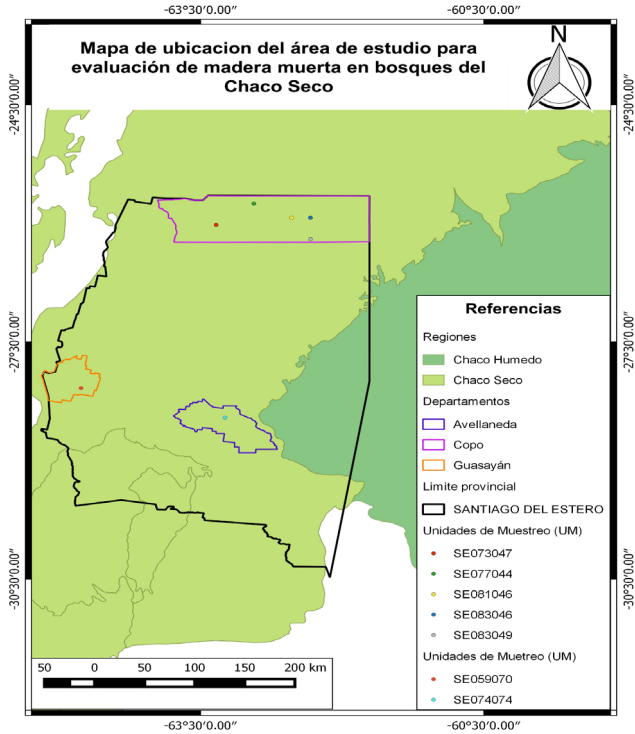


Figura 15. Ubicación del área de estudio y unidades de muestreo.

### Metodología empleada

#### a) Medición a campo de diferentes tipos de madera muerta

Se realizaron diferentes mediciones in situ de madera muerta (MM) en 7 parcelas de muestreo. Para la cuantificación del stock de carbono total de MM, se definieron cinco tipos que incluyen:

- Madera muerta en pie (MMP) con un diámetro a la altura

del pecho (DAP) > 5 cm;

- Tocones (MMT);
- Madera muerta fina (MMF) con un diámetro < 2,5 cm;
- Madera muerta mediana (MMM) con un diámetro > 2,5 cm y < 7,5 cm;
- Madera muerta gruesa (MMG) con un diámetro > 7,5 cm.

Para cada uno de estos reservorios se establecieron criterios específicos de muestreo dentro del área de la parcela. La MMP y MMT se midieron en toda la parcela circular de 1.000 m<sup>2</sup> (17,8 m de radio); la MMF se midió en 2 líneas de intersección de 6 m y para la MMM y MMG se utilizaron 2 líneas de intersección de 17,8 m, mediante la técnica Line Intercept Sampling - LIS de Van Wagner (1982).

*b) Colecta de muestras y determinación del peso húmedo del material*

En uno de los transectos de la parcela (17,8 m), se realizó la colecta y evaluación del material leñoso caído en tres grados de descomposición según características observables *in situ*, las cuales fueron corroboradas en laboratorio (Díaz Zirpolo, 2017).

Se procedió al pesaje de las muestras a campo para la determinación del peso húmedo. Para esto, se siguió un protocolo desarrollado para la recolección de cada material. Las muestras fueron trasladadas al Laboratorio de Anatomía de la Madera perteneciente al INSIMA para su acondicionamiento, almacenaje y posterior medición (Figura 16).

Cada muestra fue pesada en fresco a campo y colocada en una bolsa rotulada con el fin de estimar su densidad básica en laboratorio.



Figura 16. Esquema de actividades llevadas a cabo a campo.

*c) Procesamientos, secado y determinación de densidades básicas de muestras de madera muerta en laboratorio.*

Las muestras fueron secadas en estufa a 75 °C hasta peso constante (48-72 horas aproximadamente) y con el peso y el volumen se calculó la densidad básica de cada muestra, mediante el método de desplazamiento de volumen de agua (Coronel, 1994).

*d) Elaboración de preparados microscópicos*

Se realizó la preparación de las muestras para caracterizar la ecoanatomía de la madera muerta según su grado de deterioro por tipo de bosque.

*e) Molienda y fraccionamiento de muestras de madera muerta*

Se fraccionaron las muestras y se procedió al molido mediante el uso de un molino de seis cuchillas de 50 a 6,000 rpm con tamices metálicos con tamaño de malla de 0,2 a 6,0 mm, hasta obtener consistencia de polvo; luego, fueron almacenadas en bolsas plásticas bien identificadas y rotuladas para la posterior determinación de los tenores de carbono.

Finalmente, se realizó la determinación del porcentaje de carbono mediante el método de combustión total en seco con un analizador elemental (IPCC, 2003).

*f) Procesamiento de datos en gabinete*

Con base en los resultados de los análisis de datos obtenidos de los muestreos a campo y posteriores ensayos de laboratorio, se procesaron los datos en gabinete, se confeccionaron matrices y se aplicaron análisis estadísticos.

*Resultados*

Los resultados mostraron un comportamiento similar de las variables evaluadas, las que presentaron un máximo en la unidad de muestreo SE083046 (Necromasa: 29,417 tMS/ha y 13,687 tC/ha) y un mínimo de CTC (8,534 tC/ha) y Necromasa (17,734 tMS/ha) en SE068051 (Figura 17). Esto puede deberse a la gran cantidad de MMM y MMG registradas en la parcela SE061069, que aportaron en gran medida al volumen y, por consiguiente, a la necromasa y contenido total de carbono.

La magnitud de las diferentes reservas de carbono y su contribución al almacenamiento total de carbono del ecosistema se ven profundamente afectadas por las transiciones y los cambios de uso del suelo que están ocurriendo ampliamente en la región.

En concordancia con Lombardi *et al.* (2008), la cantidad de MM en un bosque depende de un conjunto de variables, como tipo de bosque, estado de desarrollo, especie y frecuencia de los disturbios de recursos naturales o antropogénicos, suelos, características climáticas y tipo de gestión.

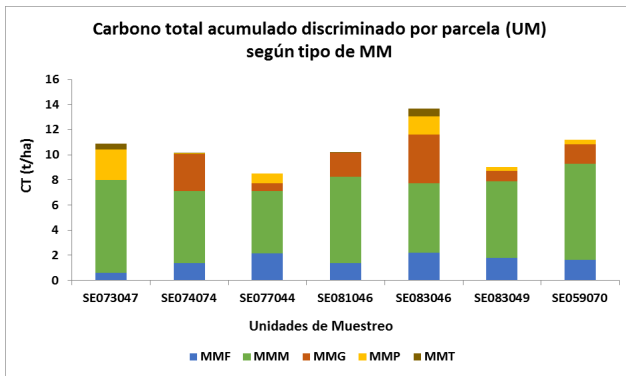


Figura 17. Contenido de carbono total en diferentes tipos de MM.

### Consideraciones finales

La presente línea de investigación sienta las bases sobre valores de referencia de carbono almacenado en la MM para la región Parque Chaqueño, mediante la utilización de metodologías adaptadas específicamente para el objetivo propuesto, algo que hasta el presente no se había realizado con este nivel de detalle.

### Caracterización de las propiedades energéticas de especies forestales plantadas en el Chaco seco

#### Introducción

Existe una demanda creciente de madera para usos energéticos, que depende de las preferencias de los pobladores y está determinada por su hábitat. Según la densidad básica y los componentes de la especie considerada, tendrán diferentes



valores energéticos.

Una forma de conocer las maderas y la leña que se consumen es determinando la cantidad de calor que desprende el combustible (poder calorífico superior: PCS) cuando se quema.

Esto va acompañado con la cantidad de agua que sujeta ese material (humedad), los gases que pueden contener en el interior (volátiles), el total del residuo inorgánico (minerales que fueron absorbidos durante el crecimiento del árbol) luego de realizar una quema completa de la muestra (cenizas); con estos datos se puede saber la cantidad de carbono fijo (cantidades porcentuales que determinan la calidad del combustible).

En muchos casos se desconocen estas propiedades y para eso es necesario caracterizar su aptitud energética. En este contexto es que se determina el valor energético, contenido de carbono fijo, contenido de cenizas y contenido de volátiles del leño de *Prosopis alba* y *Eucalyptus camaldulensis*. Los análisis se realizan en el Laboratorio de Energía de Biomasa del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM) de la Facultad de Ciencias Forestales (FCF) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

El objetivo de esta etapa del trabajo es caracterizar la aptitud energética del leño vivo/muerto de las especies seleccionadas, que permitan la optimización del uso de los recursos boscosos.

### *Materiales y métodos*

Las muestras de *Eucalyptus camaldulensis* se obtuvieron del ensayo ubicado en El Zanjón, identificadas según cuatro bloques de muestreo.

La obtención del aserrín para las determinaciones energéticas se realiza según la norma ASTM D1762-84 (2007) en molino tipo Wiley. El tamaño aceptado es el que pasa por el tamiz N° 20.

Se procesaron las muestras seleccionadas en función de la procedencia del material genético, la familia y los bloques de muestreo. Se procedió a moler y tamizar, y se tomó de cada una de ellas por repetición las cantidades necesarias para los ensayos de poder calorífico y para la determinación de volátiles, cenizas y humedad.

La determinación del análisis próximo (% humedad, % cenizas, % volátiles, % carbono fijo) se realiza según normas ASTM D1762 – 84 (2007) y AFNOR NF B55 – 101 (1984). La muestra de aserrín se coloca en estufa a 100 °C y luego se lleva a mufla a 700 °C.

Para la determinación del poder calorífico superior a un determinado porcentaje de humedad, se trabaja con bomba calorimétrica semiautomática Julius Peters (condiciones adiabáticas según norma DIN 51900). En la Figura 18 se puede ver las etapas del proceso para esta determinación:



Figura 18. Etapas del proceso de determinación del poder calorífico superior (PCS).

## Resultados

En la Tabla 7 se presentan valores promedios obtenidos de los cuatro bloques con los que se trabaja.

Tabla 7. Valores promedio del poder calorífico superior (PCS), porcentaje de humedad (% H), porcentaje de volátiles (% V) y porcentaje de cenizas (% C)

IDENTIFICACIÓN	PCS (KCAL/KG)	% H	% V	% C
promedio Bloque I	4820	3,84	71	1,72
promedio Bloque III	4991	6,5	68	2,56
promedio Bloque III	4760	4,01	73	1,67
promedio Bloque IV	4794	3,51	74	3
Promedio	4841,25	4,465	71,5	2,2375

## Consideraciones finales

El valor promedio del PCS obtenido, mostrado en la Tabla 7, de 4841,25 (kcal/kg) supera al obtenido por Ludueña *et al.* (2018) de 4820 kcal/kg; con este resultado se confirma el alto poder energético que posee esta madera, con lo que se posiciona en el ranking de estos parámetros, con valores totalmente comparables con las especies nativas elegidas por pobladores por su alto poder calórico.

## Bibliografía

- Arce N y Moya R (2015). "Wood characterization of adult clones of *Tectona grandis* growing in Costa Rica". *CERNE*. 21(3), pp. 353-362.
- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Justicia y Derechos Humanos (1 de diciembre de 1980). Ley 22.344. "Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre". *Infoleg. Información legislativa*.
- Arantes, Marina; Trugilho, Paulo; Tomazello Filho, Mario; Lima, José y Vidaurre, Graziela. (2016). "Densitometria de raios x na madeira e carvão de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. A.". *Revista Árvore*. 40(1), pp. 155-162.
- Atayde, C. M.; Gonçalves, J. C.; Camargos, J. A. (2011). "Características colorimétricas entre as seções anatômicas da madeira de Muirapiranga (*Brosimum sp.*)". *Cerne Lavras*. 17(2), pp. 231-235.
- Baar, J.; Wimmer, R. y D'Amico, S. (2014). "Dependence of colour and discolouration on total extractive content of African Padauk and Jatoba". *Wood Sci Technol*. (48), pp.1155-1165.
- Baptista, Graziela; Rocha, Benedito; Cássia, Angélica; Oliveira José; Cabral, Jordão; Missia, João y Ransolin, Denise (2018). "Physical and mechanical properties of juvenile *Schizolobium amazonicum* wood". *Revista Árvore*. 42(1), pp. 1 -9.
- Baker, T. R.; Coronado, E. N. H.; Phillips, O. L. et al. (2007). "Low stocks of coarse woody debris in a southwest Amazonian forest". *Oecologia*. (152), pp. 495-504.
- Baso López, C. (2004). "Potencialidad del *Eucalyptus globulus* como Madera Sólida". Universidad de Vigo, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal. *Boletín de Información Técnica*. (228), pp. 66-72.
- Bradbury, G. J.; Potts, B. M.; Beadle, C. L. (2010). "Quantifying phenotypic variation in wood colour in *Acacia melanoxylon* R.Br.". *Forestry* 83(2), pp. 153-162.

- Camargos JAA y González JCA (2001). "Colorimetría aplicada como instrumento na elaboração de uma tabela de cores de madeira". *Brasil Florestal*. (71), pp. 30-41.
- Cisneros, A. B. y Moglia, J. (2017). "Prosopis alba: alternativa sustentable para zonas áridas y semiáridas". En Giménez, AM y Moglia, J G (ed) *Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva* (pp. 231-248). Santiago del Estero, Argentina: Facultad de Ciencias Forestales.
- Cisneros, A. B.; Nisgoski, S.; Moglia, J. G. y Córdoba, M. (2019). "Colorimetry of wood from *Prosopis alba* Griseb.". *Maderas: Ciencia y Tecnología*. 21(3), pp. 393-404.
- Chao K. J.; Phillips, O. L.; Baker, T. R. et al. (2009). "After trees die: quantities and determinants of necromass across Amazonia". *Biogeosciences Discuss*. (6), pp. 1615-1626.
- Coronel, E. O. (1994). *Fundamentos de las propiedades físicas y mecánicas de las maderas. Aspectos teóricos y prácticos para la determinación de las propiedades, y sus aplicaciones*. 1ª Parte. Santiago del Estero: Editorial El Liberal.
- Cruz, Alejandro (2003). *Variabilidad en el árbol de las dimensiones de las fibras y de la densidad básica de la madera de Eucalyptus camaldulensis Dehnh*. Tesis de grado. Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Díaz Zirpolo, J. (2017). *Madera muerta como factor para la gestión de los recursos forestales en bosques del Chaco Semiárido, Argentina*. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero.
- Di Rienzo, Julio; Casanoves Fernando; Balzarini Monica; González Laura; Tablada Margot y Robledo, Carlos (2015). *InfoStat versión 2015*. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- FAO (2005). *Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales 2005*.
- FAO (2011). *Resultados del proyecto LADA*. Evaluación de la desertificación en Argentina. 469 p.
- Ferreira, Mário. (1972). "Variação da densidade básica da ma-

- deira de povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos". *IPEF*. (4), pp. 65-89.
- Gasparri, N., M. Pinazo, y J. Goya (2003). "Individual growth and minimum cutting diameter of *Juglans australis*: simulation of intervention in a mature stand in northwestern Argentina". *Yvyrareta*. (11), pp. 27-33.
- Giménez, AM, P. Hernández y R. Gerez (2007). "Wood anatomy and growth rings of palo santo (*Gonopterodendron sarmientoii* Lorenz ex Griseb, *Zygophyllaceae*) and *C. Spagariño*". -*Revista Quebracho*. (14), pp. 23-37.
- González, Damián; Cisneros; Moglia Juana; López, Carlos y Venturini, Magalí (2011). "Índices de selección por diámetro y penetración de pilodyn en familias de polinización abierta de *Eucalyptus camaldulensis* en Santiago del Estero". I Congreso Forestal del Chaco Sudamericano. Filadelfia, Paraguay.
- Gonçalez, J. C.; Janin, G.; Santoro, A. C.; da Costa, A. F. y do Valle AT (2001). "Colorimetria quantitativa: uma técnica objetiva de determinar a cor da madeira". *Revista Brasil Florestal*. (72), pp. 47-48.
- Helinska, R.; E. Raczowska y G. Fabisiak. (1991). "Radial variation and growth rate in the length of the axial elements of sessile oak wood". *IAWA Bull.* 12(3), pp. 257-262.
- Hikita Y, Toyoda T y Azuma M (2001). Weathering testing of timber – discoloration. In: IMAMURA, Y. *High performance utilization of wood for outdoor uses*. Kyoto, Japão: Press-net.
- Image-Pro-Plus. Version 4.5.0.19 for Windows 98 / NT / windows. Software for manipulation, treatment and analysis of images.
- International Panel on Climate Change - IPCC. (2003). "Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry". En Penman, J.; M. Gytarsky; T. Hiraishi et al. *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry* (pp. 413-428). Japan: Institute for Global Environmental Strategies (IGES) for the IPCC.

- Lombardi, F.; Laserre, B.; Tognetti, R. y M. Marchetti. (2008). "Deadwood in Relation to Stand Management and Forest Type in Central Apennines (Molise, Italy)". *Ecosystems*. (11), pp. 882-894.
- López, Juan y Staffieri Gabriela (2003). "Variación radial de la densidad de la madera de *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus dunnii* a los 21 años de edad". XVIII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia, Argentina. 8 p. Actas en CD.
- López, Ivón (2003). *Características anatómicas y propiedades físico-mecánicas de la madera de Eucalyptus camaldulensis Dnhh. Proveniente de la plantación "Ing. Mario Ávila" en Texcoco Estado de México*. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México.
- López, Carlos. (2004). *Variación genética en procedencias y progenies de Eucalyptus camaldulensis introducidas en el noroeste argentino*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes. España.
- Ludueña, M.; Cardozo, R.; Carranza, M. y Moglia, J. (2018). "Caracterización energética de la madera de *Eucalyptus camaldulensis* de Santiago del Estero". II Congreso Internacional del Gran Chaco Americano.
- Mantero, Carlos; O'Neill, Hugo; Cardoso, Andrea y Castagna, Andrés (2014). "Propiedades físicas y mecánicas de la madera de una población de *Eucalyptus bosistoana* F. Muell. cultivada en Uruguay". *Agrociencia Uruguay*. 18 (1), pp. 65-74.
- Moglia, Juana; Giménez Ana; González Damián y Gerez Roxana. (2010). "Caracterización de los anillos de crecimiento y su relación con la densidad básica de la madera en *Eucalyptus camaldulensis*". *Revista Quebracho*. 18(1,2), pp. 47-57.
- Moglia, J.; Coronel de Renolfi M.; Cisneros A.B. y González D. (2017). *De lo global a lo particular: el estado de los bosques. En Los bosques actuales del chaco semiárido argentino. Ecoanatomía y biodiversidad. Una mirada propositiva*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Moya, M. y Calvo-Alvarado, J. (2012). "Variation of wood co-

- lor parameters of *Tectona grandis* and its relationship with physical environmental factors". *Annals of Forest Science*. (69), pp. 947–959.
- Moya, R. y Berrocal, A. (2010). "Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance". *Ann. For. Sci.* (67), pp. 109–122.
- Moya, R.; Fallas, R. S.; Jiménez Bonilla, P. y Tenorio, C. (2012). "Relationship between Wood Color Parameters Measured by the CIELab System and Extractive and Phenol Content in *Acacia mangium* and *Vochysia guatemalensis* from Fast-Growth Plantations". *Molecules*. (17), pp. 3639–3652.
- Moya, R. y Marin, J. (2011). "Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness". *New Forests*. (42), pp. 329–345.
- Navarrete, Eduardo; Figueroa, Ximena; Novoa, Pablo y Espinosa, Miguel (2009). "Efecto del manejo silvícola y clase de copa sobre la densidad básica de *Eucalyptus nitens*". *Florista*. 39(2), pp. 345–354.
- Nishino, Y.; Janin, G.; Chanson, B.; Détienne, P.; Gril, J. y Thibaut, B. (1998). "Colorimetry of wood specimens from French Guiana". *J. Wood Sci.* (44), pp. 3–8.
- Normas ASTM D1762-84 (2007). *Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal*.
- Normas N F B101-55 (1984). Charbon de bois et briquettes de charbon de bois a usage domestique. (N F M03-002) Determination de l'humidité, (N F M03-003) Determination du taux de cendres, (N F M03-004) Determination de l'indice de matières volatiles. *Normes françaises et européennes*. Afnor EDITIONS.
- Normas DIN 51.900 (2003). Pruebas de combustibles sólidos y líquidos - Determinación del valor calorífico bruto mediante el calorímetro de bomba y cálculo del valor calorífico neto. *Deutsches Institut für Normung*.
- Oliveira, José y Silva, José (2003). "Variação radial da retratibilidade e densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna*



- Sm". *Revista Árvore*. 27(3), pp. 381-385.
- Piquer-Rodríguez, M., S. Torrella, G. Gavier-Pizarro, J. Volante, D. Somma, R. Ginzburg y T. Kuemmerle (2015). "Effects of past and future land conversions on forest connectivity in the Argentine Chaco". *Landscape Ecol.* (30), pp. 817-833.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable (17 de abril de 2013). Resolución 393/13. Exportación de Palo Santo. *Argentina ambiental*.
- Smith, P. (2004). "Monitoring and verification of soil carbon changes under Article 3.4 of the Kyoto Protocol". *Soil Use and Management*. (20), pp. 264-270.
- Sotelo Montes, C.; Hernández, R. E.; Beaulieu, J. y Weber, J. C. (2008). "Genetic variation in wood color and its correlations with tree growth and wood density of *Calycophyllum spruceanum* at an early age in the Peruvian Amazon". *New Forests*. 35(1), pp. 57-73
- Tomazello Filho, Mario (1985). "Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*". *Scientia Forestalis*. (29), pp. 37-45.
- Van Wagner, C. E. (1892). *Practical aspects of the line intersect method*. Ontario, Canadá: Petawawa National Forestry Institute, Canadian Forestry Service.
- Verga, A. (2000). "Recursos genéticos, mejoramiento y conservación de especies del género *Prosopis*". In Norverto CA (ed) *Mejores árboles para más forestadores* (pp. 205-221). Buenos Aires, Argentina: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos (SAGPyA).
- Voss, DH y Hale, WN (1998). "A comparison of the three editions of the Royal Horticultural Society Colour Chart". *HortScience*. (33), pp. 13-17.
- Waller, T. (2009). *Status of the Palo Santo species (Gonopterodendron sarmientoi Lorentz ex Griseb.) In the province of Formosa: studies of extraction sites in the departments of Matacos and Bermejo*. Formosa, Argentina: Argentine Biodiversity Foundation. [https://www.academia.edu/3481993/Situaci%C3%B3n\\_de\\_la\\_especie\\_Palo\\_Santo\\_Bulnesia](https://www.academia.edu/3481993/Situaci%C3%B3n_de_la_especie_Palo_Santo_Bulnesia)

[sarmiento\\_i\\_Lorentz\\_ex\\_Griseb\\_en\\_la\\_provincia\\_de\\_Formosa\\_estudios\\_de\\_sitios\\_de\\_extracci%C3%B3n\\_en\\_los\\_Departamentos\\_Matacos\\_y\\_Bermejo](#)

Zaninovich, S. C. (2017). *Dinámica y almacenamiento del carbono en la necromasa y el suelo de ecosistemas forestales: efecto de la degradación del bosque nativo y su reemplazo por plantaciones de Pinus taeda L. en el NE de Argentina*. Tesis Doctoral, Universidad Nacional del Nordeste. Corrientes. 4

V. ÁREA TEMÁTICA:  
TECNOLOGÍAS APLICADAS

# INVESTIGACIÓN DE MERCADO DE LA INDUSTRIA DE LA MADERA.EL CASO DE SANTIAGO DEL ESTERO<sup>1</sup>

ROLANDO SCHIMPF<sup>2</sup>; MYRIAM LUDUEÑA<sup>3</sup>; ROCÍO SÁNCHEZ UGALDE<sup>4</sup>

## Resumen

A pesar de la poca estructuración formal del mercado de maderas en Santiago del Estero, existe la necesidad de generar información y un mayor conocimiento de la dinámica del mercado, con el propósito de contribuir a la implementación de estrategias que impulsen el desarrollo del sector forestal y su inserción comercial en la región.

Con el objetivo de trazar un perfil cualitativo de la producción y el consumo de maderas provenientes de la industria de transformación física, el trabajo analizó los resultados de 100

1 Proyecto de investigación titulado "Investigación de mercado de la madera de especies para uso sólido de Santiago del Estero", Código 23/B 141, financiado por el CICyT-UNSE (2016-2019).

2 Ing. Forestal. Docente-investigador. Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales-UNSE.

3 Ing. en Industrias Forestales. Docente-investigadora. Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales-UNSE.

4 Lic. en Economía. Docente-investigadora. Instituto de Tecnología de la Madera. Facultad de Ciencias Forestales-UNSE.

encuestas aplicadas a titulares de establecimientos madereros (encuesta de oferta) y de unas 300 encuestas a consumidores finales de productos de madera (encuesta de demanda). Las encuestas se aplicaron en diferentes localidades de la provincia de Santiago del Estero de los departamentos Capital, Banda, Robles, Loreto, Copo y Alberdi.

El estudio de la oferta utilizó información primaria y secundaria para trazar un diagnóstico de la actual situación, a partir de la cual se analizó el perfil del establecimiento, el estatus tecnológico, las especies maderables utilizadas, la comercialización, los resultados empresariales y las fortalezas y debilidades de la actividad. Se efectuó un análisis descriptivo univariante y se compararon los seis sitios para destacar características diferenciales entre los mismos.

El estudio de demanda sirvió para analizar la conducta del consumidor final de productos de madera mediante la exploración de su comportamiento, sus opiniones y preferencias y sus patrones de consumo. Las variables relevadas de la encuesta de demanda fueron, entre otras, tipo de productos consumidos, frecuencia de compra, especies forestales de los productos demandados, cualidades buscadas en la madera, opinión sobre la sustitución de productos de madera por otros alternativos y disposición a pagar más por un producto de madera proveniente del uso sustentable del bosque.

Palabras clave: diagnóstico; MiPyMEs madereras; aserraderos y carpinterías; muebles y productos de madera; consumo

## Abstract

Despite the little formal structuring of the timber market in Santiago del Estero, there is a need to generate information and a better understanding of the market dynamics. This will contribute to the implementation of strategies that promote the development of the forestry sector and its commercial insertion in the region.

The objective of this paper was to draw a qualitative profile of the production and consumption of wood from the physical transformation industry. This paper analyzed the results of 100 surveys applied to owners of logging establishments (supply survey) and of some 300 surveys applied to final consumers of wood products (demand survey). The surveys were carried out in different Departments of Santiago del Estero province: Capital, Banda, Robles, Loreto, Copo and Alberdi.

The supply study used primary and secondary information to draw a diagnosis of the current situation, analyzing the profile of the establishment, technological status, timber species used, commercialization, business results and strengths and weaknesses of the activity. A univariate descriptive analysis was carried out and the six sites were compared to highlight differential characteristics between them.

The demand study served to analyze the behavior of the final consumer of wood products by exploring their behavior, their opinions and preferences and their consumption patterns. The relevant variables of the demand survey were, among others, type of products consumed, frequency of purchase, forest species of the products demanded, qualities sought in the wood, opinion on the substitution of wood products for other alternatives and willingness to pay more for a wood product from the sustainable use of the forest.

Key words: diagnosis; wood mini-SMEs; sawmills and carpentry; furniture and wood products; consumption

## Introducción

La oferta y la demanda son dos caras de una misma moneda, muy importantes al momento de efectuar un análisis del mercado. Sin embargo, una de las grandes preguntas de la economía, motivo de controversias, es ¿cuál está primero: la demanda o la oferta? Tetaz (2017) opina que, si bien hay quienes sostienen que la demanda está primero y que es necesario detectar demandas insatisfechas en el mercado para poder generar la oferta (las empresas se reinventan según las necesidades del consumidor), también están quienes afirman que la oferta es generadora de demanda (las empresas logran crear la necesidad en el consumidor con un producto innovador en diseño, material y funciones). Si no existe mercado, o el mismo se encuentra contraído, no se pueden generar oportunidades comerciales. Por lo tanto, es importante descubrir las características del mercado objetivo para poder satisfacerlo con una oferta acorde a las necesidades a cubrir. Si se pretende permanecer en el mercado, se debe estar cerca del consumidor, saber qué busca y cuáles son sus preferencias.

A pesar de la poca estructuración formal del mercado de maderas en Argentina, existe la necesidad de generar un mayor conocimiento de la dinámica del mercado. De este modo, se pretende lograr un acercamiento al conocimiento de su realidad, lo cual debe contribuir a la toma de decisiones de empresarios e inversionistas en el sector forestal.

La competitividad en el negocio forestal debe contemplar una mejora en todos los eslabones de la cadena productiva, desde la producción primaria, pasando por los procesos de transformación y comercialización, hasta el consumidor final.

El análisis de las oportunidades comerciales para productos madereros brinda información que puede contribuir con el sector foresto-industrial en su búsqueda por diversificar productos y mercados, para así mejorar su inserción comercial en la región.

El sector foresto-industrial de Argentina incluye al sector forestal primario (silvicultura y producción de madera: corte, extracción, carga y transporte), a las actividades industriales de madera aserrada, tableros, chapas, muebles y demás remanufacturas (transformación física) y a la pasta celulósica, papel y cartón (transformación química). En el año 2020, el valor bruto de producción de Argentina por rama de actividad económica muestra que el sector forestal representa cerca del 1,95% del valor total. El principal segmento generador del PIB sectorial es la industria de transformación física de la madera con una participación del 43%. El resto es aportado por la industria de la celulosa, papel y cartón con un 46% y la silvicultura con un 11% (INDEC, 2021).

A diferencia del sector forestal primario, donde la mayor parte de las extracciones de rollizos provienen de las provincias mesopotámicas, la industria de la madera se localiza en todas las regiones del país. Las industrias de primera y segunda transformación se asientan preponderantemente en la Mesopotamia y en Buenos Aires, debido a economías de localización asociadas a los costos de transporte. Los eslabones más avanzados en la cadena de valor, tales como la fabricación de muebles, se instalan cerca de los centros de consumo (Buenos Aires, Santa Fe y Córdoba). En Chaco, Formosa, la Patagonia y el Noroeste argentino (NOA) existe una importante cantidad de aserraderos, especialmente de maderas nativas, y pequeñas producciones de muebles y de otros productos de carpintería. Los envases y pallets se fabrican, en especial, en las provincias frutícolas de Río Negro, Entre Ríos o Mendoza. Los postes para el transporte de redes de alta tensión y los rodrigones para la



conducción de viñedos se elaboran en Entre Ríos, Santa Fe y Mendoza (Sánchez Ugalde, 2012).

Ante este panorama nacional, cabe preguntarse cuál es el rol que desempeña la provincia de Santiago del Estero en el mercado de la industria de la madera.

La información del sector forestal acerca de la demanda y el consumo de productos madereros es escasa. Entre los estudios de demanda a nivel provincial se pueden citar algunas referencias al tema en los trabajos de Sánchez Ugalde (2012), Ministerio de Producción - Unión Industrial de Santiago del Estero (Ministerio de Producción - UISDE, 2013), De Bedia *et al.* (2018), Subsecretaría de Programación Económica (SSPE, 2019) y Schimpf *et al.* (2019).

En cambio, la información respecto a la producción y la oferta de madera ha avanzado un poco más. Durante el año 2016 se llevó a cabo el Censo Nacional de Aserraderos (CNA) en el marco del Programa de Sustentabilidad y Competitividad Forestal-BID 2853 OC/AR que "contempla la contribución al manejo sustentable y el aumento de la calidad de información de la industria de primera transformación, a fin de lograr mayor conocimiento y ampliar la información sobre la situación del primer eslabón industrial de la cadena forestal" (Ministerio de Agroindustria, 2017). En 2017 se presentó el informe del relevamiento correspondiente a la provincia de Santiago del Estero (Ministerio de Agroindustria, 2017).

¿Qué otra información actual existe sobre el sector maderero de Santiago del Estero? En el ámbito nacional se dispone de informes de instituciones estatales e intermedias que publican información agregada para todo el país o por regiones. Las referencias más actuales son el análisis de diagnóstico sectorial madera y muebles (Federico, 2013), el análisis prospectivo del complejo foresto-industrial (Idígoras, 2016), el informe de cadenas de valor del sector papel y muebles (SSPE, 2019) y el informe de actualidad de la cadena de va-

lor foresto industrial (Federación Argentina de la Industria de la Maderera y Afines, 2019).

A nivel provincial se cuenta con el informe de consultoría de Sánchez Ugalde (2012), el Plan Estratégico 2020 de Santiago del Estero (Ministerio de la Producción-UISDE, 2013) y las publicaciones de Umlandt y Hoyos (2018), Schimpf *et al.* (2018) y Schimpf *et al.* (2019).

Según el CNA (Ministerio de Agroindustria, 2017), el sector industrial de la madera en la provincia de Santiago de Estero comprende dos subsectores bien diferenciados: a) industrialización primaria que procesa los rollizos y elabora durmientes y madera aserrada para el campo y b) industrialización secundaria que abarca la elaboración de aberturas, muebles, pisos de madera, implementos para la ganadería y otros productos de carpintería. El censo relevó 206 establecimientos entre aserraderos e industrias de manufactura e identificó tres zonas madereras: Zona Norte (comprende los departamentos Pellegrini, Copo y Alberdi); Zona Centro (departamentos Capital, Río Hondo, Figueroa, Moreno, Ibarra, Sarmiento, San Martín, Robles, Silípica y Guasayán) y Zona Sur (departamentos Choya, Loreto, Atamisqui, Avellaneda, Taboada, Ojo de Agua, Salavina, Quebrachos, Aguirre, Mitre, Belgrano y Rivadavia). Los ítems analizados son los siguientes: materia prima (cantidad consumida), producción (volúmenes generados de los diferentes productos aserrados y manufacturados), tamaño de los aserraderos (según rangos de producción), capacidad instalada (capacidad teórica de producción anual), subproductos, empleo (cantidad de puestos de trabajo directos generados), tecnología (cantidad de máquinas y potencia instalada), comercialización y precio de los productos.

El trabajo de Sánchez Ugalde (2012) señala que Santiago del Estero cuenta con tres centros transformadores de la madera, bien diferenciados entre sí. Un polo industrial se ubica en los departamentos Capital y Banda (nodo Capital-Banda) donde

se asientan las micro, pequeña y mediana empresas (MiPyMEs) que elaboran una diversidad de productos forestales, por la existencia de comercios mayoristas o centros de acopio que proveen de insumos para la segunda industrialización de la madera. Otro polo industrial se encuentra en el departamento Loreto (nodo Loreto), a 60 km de la capital provincial, que congrega mueblerías de pequeño porte. El tercer polo se concentra en el noreste de la provincia (nodo Noreste) con aserraderos ubicados en Monte Quemado, Los Pirpintos, Pampa de los Guanacos (departamento Copo), Campo Gallo (departamento Alberdi), Tintina, Weisburd y Quimilí (departamento Moreno); son puntos de elaboración de productos forestales primarios dedicados principalmente a la primera transformación mecánica de la madera. En esta región se encuentra la mayor parte de los recursos forestales nativos.

El Plan Estratégico 2020 (Ministerio de la Producción-UIS-DE, 2013) detalla las cadenas productivas líderes del desarrollo industrial de Santiago del Estero tales como la textil, bioenergía, frutihortícola, cárnica e insumos para la construcción, y dedica escasas páginas a describir las cadenas secundarias, entre ellas la foresto-industrial. Por su parte, Schimpf *et al.* (2019) efectúan una pormenorizada descripción de la cadena productiva de la industria forestal de la provincia con énfasis en la cadena de la madera y el mueble.

Umlandt y Hoyos (2018) publican un resumen del panorama general de la industria maderera de Santiago del Estero, donde se pone en perspectiva la problemática a resolver y se señala una serie de propuestas para incrementar la competitividad del sector. Dichos autores advierten acerca de la "escasa disponibilidad de información a nivel local sobre la actividad maderera y de la amplia discrepancia entre los datos informados por distintos estudios".

## Objetivos

Con el propósito de generar información útil y actualizada que sirva para conocer las oportunidades y requerimientos que tiene la provincia para su inserción en el negocio forestal, el presente trabajo planteó como objetivo general realizar una investigación del mercado de la madera que proviene de la industria de transformación primaria y secundaria (transformación física) en Santiago del Estero, perfilando las características de la oferta y la demanda, con base en información primaria y secundaria, es decir, mediante recolección de información en terreno y revisión bibliográfica, respectivamente.

El objetivo específico del estudio de oferta fue complementar la información existente y avanzar de modo especial en el relevamiento de aspectos cualitativos que hacen al perfil de la producción industrial y el crecimiento de las empresas.

El objetivo específico del estudio de demanda fue realizar un análisis cualitativo de la conducta del consumidor de productos de madera, mediante la exploración de su comportamiento, sus opiniones y preferencias y sus patrones de consumo.

## Materiales y métodos

La investigación de mercado abarcó dos fases: el estudio de la oferta y el estudio de la demanda.

### *Estudio de la oferta*

La población de análisis fue definida como el sector de la industria de transformación física de la madera. La muestra incluyó a establecimientos emplazados en Capital (dpto. Capital), La Banda (dpto. Banda), Loreto (dpto. Loreto), Monte Quemado

(dpto. Copo), Campo Gallo (dpto. Alberdi) y Fernández (dpto. Robles) de la provincia de Santiago del Estero (ver Figura 1). Se obtuvo información primaria recurriendo a una encuesta estructurada, instrumentada a través de entrevistas personales con aplicación de un cuestionario (Díaz de Rada, 2009). Se realizaron entrevistas *in situ* a 100 titulares de establecimientos madereros, durante los años 2017 y 2018.

Se aplicó un muestreo por conveniencia que consiste en la elección, por métodos no aleatorios, de una muestra cuyas características sean similares a las de la población objetivo. El cuestionario, con 30 preguntas cerradas, apuntó a identificar cinco dimensiones de análisis: perfil industrial, tecnología, materia prima, comercialización y resultados de la actividad. El mismo incluyó numerosas variables cualitativas (ordinales y nominales) y algunas cuantitativas (Arriaza Balmón, 2006). Los indicadores relevados fueron los siguientes: tipo y antigüedad del establecimiento, cantidad de personal ocupado y su nivel de capacitación, grado de competencia en el sector, estado de la maquinaria y su grado de utilización, clase de materia prima procesada, tipo de clientes, nivel de ganancias, ritmo de ventas y dificultades que enfrentan los establecimientos, entre los aspectos más destacados. El tipo de establecimiento incluyó las categorías de aserraderos, carpinterías, corralones y otros. El grado de capacitación del personal y el nivel de ganancias se ponderó con tres niveles (alto, moderado y bajo). La competencia en el sector se evaluó con aspectos internos de competitividad de la empresa (Rojas *et al.*, 2000), contenidos en tres preguntas del cuestionario: reconocimiento de competidores, grado de percepción de competencia (alto, normal, bajo y nulo) y estrategias aplicadas para competir. El grado de utilización de la capacidad instalada se estimó con las siguientes categorías: muy bajo (menos del 30% de utilización), bajo (30-50%), medio o moderado (51-70%) y alto (más del 70%).

Se efectuó un análisis descriptivo de tipo univariante y se

compararon los seis sitios para destacar aquellas características diferenciales entre los mismos. Para verificar la existencia de relación o dependencia entre determinadas variables cualitativas se aplicó la prueba estadística no paramétrica Chi-cuadrado para un nivel de confianza del 95% (Arriaza Balmón, 2006). El paquete estadístico reportó los valores de los estadísticos Chi-cuadrado de Pearson  $\chi^2$  (basado en la diferencia al cuadrado entre las frecuencias observadas en relación a las esperadas) y Chi-cuadrado máximo verosímil o estadístico G2 (basado en la relación de frecuencias observadas y esperadas); también el coeficiente de contingencia de Cramer y el coeficiente de contingencia de Pearson, que son valores índices que resumen la intensidad de la asociación de las variables. Finalmente, se determinaron las fortalezas y debilidades de la industria maderera en el área de estudio.

### *Estudio de la demanda*

Los grupos de interés del estudio de demanda fueron los consumidores finales y las empresas constructoras respecto al consumo de productos de madera, con excepción de leña y carbón. La información se recogió mediante la aplicación de un cuestionario estructurado con 15 preguntas. Durante el año 2019 se concretaron 301 encuestas a consumidor final (con muestreo al azar) y 11 a constructoras (con muestreo intencional o dirigido). Los sitios de Santiago del Estero donde se llevaron a cabo las encuestas fueron los siguientes (Figura 1): tres barrios de la ciudad Capital (dpto. Capital), entre barrios residenciales de ingresos bajos, medios y altos; tres barrios de la ciudad de La Banda (dpto. Banda), entre barrios residenciales de ingresos bajos, medios y altos; ciudad de Fernández (dpto. Robles); ciudad de Loreto (dpto. Loreto); ciudad de Monte Quemado (dpto. Copo) y ciudad de Campo Gallo (dpto. Alberdi).

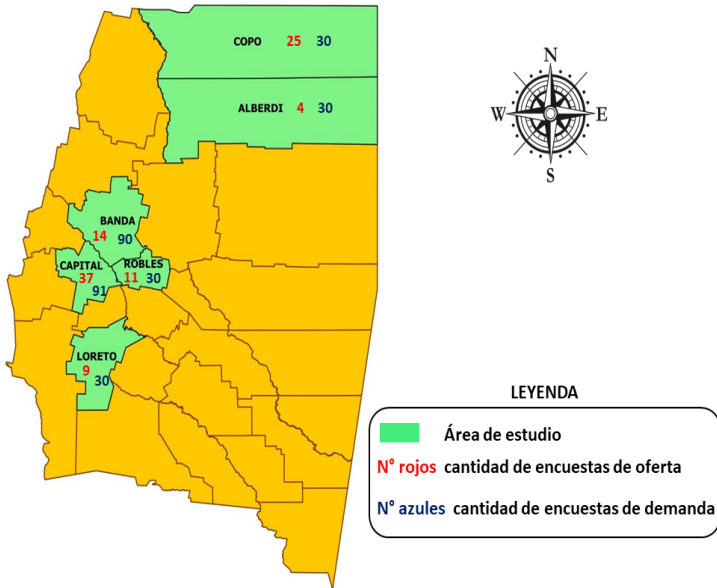


Figura 1. Santiago del Estero. Ubicación geográfica de los sitios de estudio y cantidad de encuestas por sitio.

Las variables relevadas de la encuesta de demanda al consumidor final fueron: productos consumidos (tipo y lugar de compra), frecuencia de compra, especies forestales de los productos demandados, procedencia de la madera, cualidades buscadas en el producto y en la madera, opinión sobre la sustitución de productos de madera por otros alternativos y disposición a pagar más por un producto de madera proveniente del uso sustentable del bosque.

Los aspectos indagados y los resultados obtenidos de la encuesta a empresas constructoras no se analizan en el marco del presente trabajo.

Los productos de madera fueron tipificados como sigue: muebles, aberturas, estanterías, tablas, postes/vigas y otros.

Los muebles comprenden camas, roperos, placares, mesas, sillas, bibliotecas, escritorios, esquineros, mesa de TV, alacenas para cocina, bancos y banquetas. Las aberturas incluyen puertas, portones y ventanas. El rubro estantería engloba estantes, bajo mesadas, placas para estantes. Bajo la denominación de tablas se incluyen bastidores, andamios, alfajías, listones y tirantes. El ítem "otros" abarca tacos de madera, utensilios de cocina (paneras y bandejas), percheros, marcos para cuadros y espejos, lámparas y suvenires. Los lugares de compra del producto fueron agrupados de la siguiente manera: madereras (incluye aserraderos, carpinterías, corralones y mueblerías), centros comerciales (shopping y comercio de electrodomésticos) y artesanos (diseñador, artesano y vendedor ambulante). Los tipos de madera demandada incluyen a la melamina. Cuando en sus respuestas los consumidores hacen referencia a muebles de melamina, se debe advertir que es más apropiado hablar de tableros de partículas y MDF (*medium density fibreboard* o tableros de fibra de mediana densidad). Técnicamente, la melamina es la chapa que recubre el aglomerado, que está compuesto por aserrín o el tablero MDF. En el marco de este trabajo, la disposición a pagar un "plus" por un producto de madera proveniente de un uso sustentable del bosque fue identificada con la sigla DAP.

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis descriptivo explicativo mediante gráficos, tablas y agrupación de frecuencias.



## Resultados y discusión

### *Estudio de la oferta*

La muestra de 100 entrevistas cubrió el 48,5% del universo de análisis conformado por los 206 establecimientos relevados por el CNA en la provincia (Ministerio de Agroindustria, 2017).

### Perfil de los establecimientos

Tipo de establecimiento. Según la Tabla 1, cerca de un tercio de la muestra corresponde a aserraderos. Las carpinterías representan el 56% del total de las cuales un 10% funciona como carpintería exclusivamente, mientras que el 46% restante tiene el aserradero integrado a la misma. Los corralones, dedicados al corte y venta de madera a medida, cubren el 11%. La categoría "otros" representa un 3% y hace referencia a establecimientos dedicados a trabajos de tornería y artesanías, reparación de muebles y fábrica de virutas.

Tipo	(%)
Aserradero	30
Carpintería	10
Carpintería integrada	46
Corralón	11
Otros	3

Tabla 1. Tipos de establecimiento

El Gráfico 1 muestra que los aserraderos están situados principalmente en Monte Quemado, Campo Gallo y La Banda. Las carpinterías con aserradero incorporado se ubican en Capital, Loreto, Monte Quemado y Fernández. Por su parte, Loreto y

Fernández representan dos sitios de carpinterías integradas especializadas en la fabricación de muebles y aberturas.

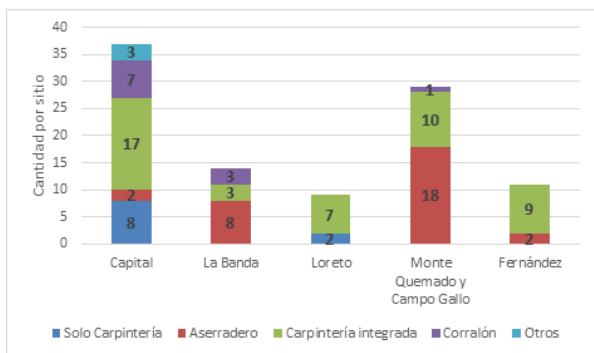


Gráfico 1. Tipo y cantidad de establecimientos por sitios.

Antigüedad del establecimiento. En el Gráfico 2 se muestra que seis de cada diez de las empresas entrevistadas iniciaron sus actividades hace más de 10 años (algunas con 50 o más años de trayectoria); es la situación predominante en las industrias de Loreto y Fernández y en una gran mayoría de Capital y La Banda. Un 24% de los casos son establecimientos que no superan los 5 años de antigüedad; se trata principalmente de aquéllos instalados recientemente en Monte Quemado.

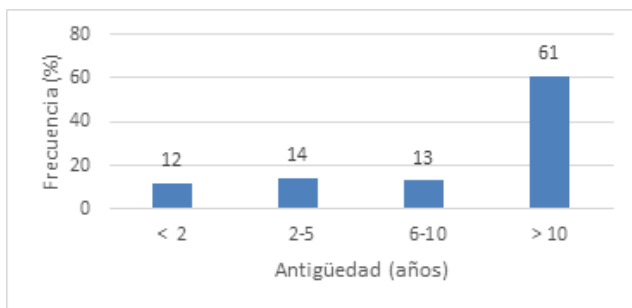


Gráfico 2. Antigüedad de los establecimientos.

Cantidad de personal y grado de capacitación. Según el CNA (Ministerio de Agroindustria, 2017) las industrias madereras de la provincia generan empleo directo de 970 puestos de trabajo. La zona norte es la que posee la mayor cantidad de empleados, con un promedio de 6 personas por establecimiento; las industrias de la zona centro, 5 personas; y las de la zona sur; 3 personas. Según las encuestas, todas las empresas visitadas son microindustrias unipersonales, ya que ninguna supera los diez empleados permanentes (Gráfico 3).

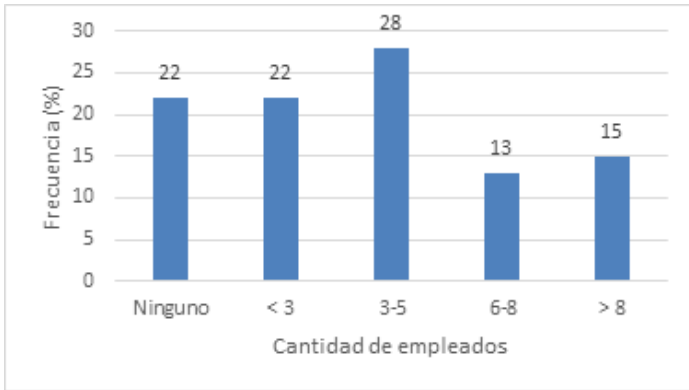


Gráfico 3. Cantidad de personal.

De acuerdo al Gráfico 3, las industrias que trabajan con más de ocho empleados representan un escaso 15%; pertenecen a Monte Quemado, Campo Gallo y Capital. Asimismo, se observa que un 41% posee entre tres y ocho trabajadores. Un 22% opera con personal temporario (no ocupa mano de obra permanente); otra proporción similar trabaja con una plantilla que no supera los dos operarios. Las carpinterías de Loreto y Fernández presentan la mayor cantidad de casos en estas dos últimas categorías.

El relevamiento de FAIMA (2019) señala que el 30% de las empresas del sector disminuyó su dotación de personal du-

rante el año 2018. Esta situación observada a nivel nacional no se verifica en las entrevistas locales ya que los establecimientos de Santiago del Estero no registran despidos.

Según las encuestas, el nivel de capacitación del personal es normal - medio para el 87% del total de empresas que declaran disponer de empleados registrados. El resto posee trabajadores sin adiestramiento. En el Gráfico 4 se destacan Monte Quemado, Campo Gallo y Capital con una mayor proporción de mano de obra calificada.

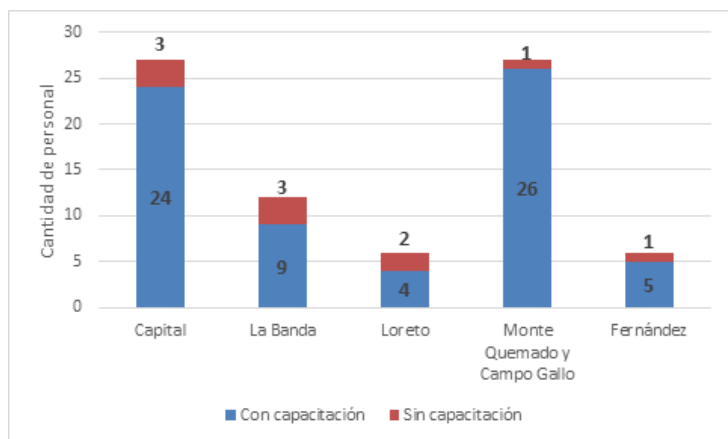


Gráfico 4. Cantidad de personal capacitado por sitios.

### *Tecnología disponible*

Potencia instalada y estado del equipamiento. La potencia instalada del parque de maquinaria suma unos 7.171 HP. El 43 % corresponde a la zona norte de la provincia, que potencialmente tiene la mayor capacidad de producción; le siguen las zonas centro y sur en menor medida (Ministerio de Agroindustria, 2017). Según el relevamiento del presente trabajo, las má-

quinas utilizadas tienen una antigüedad promedio de 23 años. A pesar de la obsolescencia, en promedio, el estado del equipamiento es bueno en un 64%, mientras que un 19% es regular y un 17% es muy bueno.

Grado de utilización. De acuerdo con el CNA (Ministerio de Agroindustria, 2017), la capacidad de utilización de la maquinaria respecto a la capacidad instalada es, en promedio, del 66%. Los datos de las encuestas respaldan estos resultados: según el Gráfico 5, el 62% de las industrias consigna grado alto-medio de utilización de su maquinaria (33% grado alto y 29% grado moderado). Un alto grado de utilización se observa principalmente en Loreto, Monte Quemado y Campo Gallo; es de grado medio en Capital, grado bajo en La Banda y grado muy bajo en Fernández.

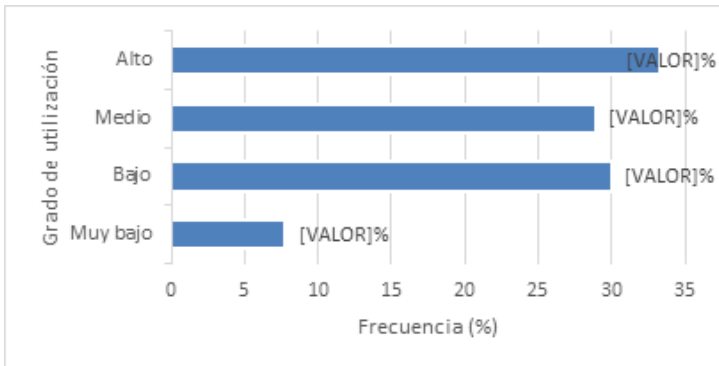


Gráfico 5. Grado de utilización de la maquinaria.

## Materia prima

Especies forestales utilizadas. En el 70% de los casos, la materia prima es provista por agentes intermediarios. En general, las industrias santiagueñas utilizan poca variedad de especies forestales. En las industrias forestales de Monte Quemado y Campo Gallo predomina el consumo de maderas de quebracho blanco y colorado y, a medida que se avanza hacia la zona sur de la provincia, si bien el consumo de materia prima es marcadamente inferior, las proporciones del uso de algarrobo aumentan (Ministerio de Agroindustria, 2017; Sánchez Ugalde, 2012).

Según las encuestas, una tercera parte de los casos señala al algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb. var. *alba*) como la madera empleada en primer lugar (Gráfico 6). También se mencionan al pino (*Pinus* sp), quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schltr.), quebracho colorado (*Schinopsis lorentzii* (Griseb.) Engl.) y cedro (*Cedrela* sp), en orden decreciente.

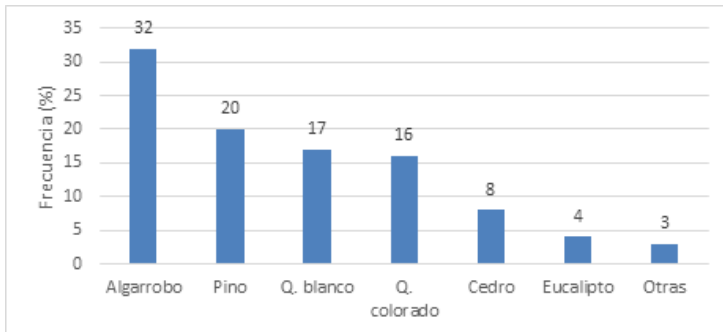


Gráfico 6. Especies forestales más utilizadas.

Los establecimientos de primera transformación (aserraderos de La Banda, Monte Quemado y Campo Gallo) emplean como materia prima solamente la madera de quebracho co-

lorado, quebracho blanco y algarrobo, proveniente del bosque nativo. Las industrias de segunda transformación (carpinterías de Loreto, Fernández, Monte Quemado, Campo Gallo y Capital) utilizan principalmente el algarrobo. Es importante advertir que existen dificultades crecientes en el abastecimiento de los rollos de algarrobo a causa de una marcada disminución de su stock.

Para la fabricación de muebles, las carpinterías ubicadas en los centros de consumo de Capital y La Banda emplean maderas cuyo origen no es provincial, como el pino y el cedro, además del algarrobo de origen local. Loreto y Fernández son dos núcleos de carpinterías especializadas en la fabricación de muebles de algarrobo.

Principales defectos de la madera. Entre los principales defectos de la materia prima se señalan los siguientes: presencia de torceduras, fisuras y rajaduras, madera húmeda y madera enferma por la acción de hongos e insectos.

Generación de residuos. La cantidad de residuos de material en las empresas es pequeña. Casi siete de cada diez de aquellas (un 66%) generan menos de 30% de desperdicios de madera, mientras que el resto (un 28%) obtiene un 30-50% de residuos. Solo en siete casos, la generación de residuos supera a la mitad de la materia prima empleada. Los restos de madera obtenidos son donados en la mayoría de los casos, o vendidos con destino a producción de leña, virutas, artesanías y manualidades. Cuando el material no es donado ni vendido, se procede a su quema, generalmente en el mismo predio industrial.

*Comercialización y resultados de la actividad*

Competencia en el sector. Un 21% de las industrias manifiesta no tener competidores. En el otro extremo, si bien la gran mayoría (79%) reconoce el accionar y la influencia de la competencia en el sector, no se la percibe en igual grado, como muestra la Tabla 2. Un tercio de las industrias (32%) identifica su actividad como moderadamente competitiva (principalmente en Monte Quemado). Un 28% afirma que la competencia es alta (especialmente en Loreto), mientras que un 19% sostiene que es de grado bajo.

Grado	(%)
Alto	28
Moderado	32
Bajo	19
Nulo	21

Tabla 2. Grado de percepción de competencia

Las estrategias utilizadas para enfrentar la competencia son, en orden decreciente, la calidad (con la mayor cantidad de menciones), la experiencia, los precios bajos y la especialización. El diseño y la buena atención al cliente son estrategias poco mencionadas por los entrevistados.

Tipo de clientes. La comercialización de los productos tiene como destino el mercado local. Casi el 60% de las empresas comercializa sus productos al consumidor final. Un 17% es exclusivamente proveedor de empresas, mientras que un 25% atiende a un "mix" de clientes que incluye particulares, empresas y, de modo excepcional, el Estado Provincial (Tabla 3).



Cliente	(%)
Consumidor final	58
Mix	24
Empresas	17
Estado	1

Tabla 3. Tipo de clientes

Desempeño de las ventas. Las respuestas acerca del comportamiento pasado de las ventas fueron muy dispares. Según los resultados, un 38% considera que en los últimos tres años (2015-2017) sus ventas experimentaron una reducción significativa. Por otro lado, un 36% señala un nivel estable de las mismas, mientras que un 23% califica el ritmo de ventas con un comportamiento ascendente (Gráfico 7). La mayor proporción de casos con desempeño descendente de ventas se evidencia en las carpinterías de Loreto y Fernández dedicadas a la fabricación de muebles. El escenario en estos dos sitios coincide con la situación que se verifica a nivel nacional, dado que FAIMA (2019) informa que la industria del mueble cayó un 37,5% mientras que la de madera y sus manufacturas un 16,7% interanual entre 2017 y 2018.

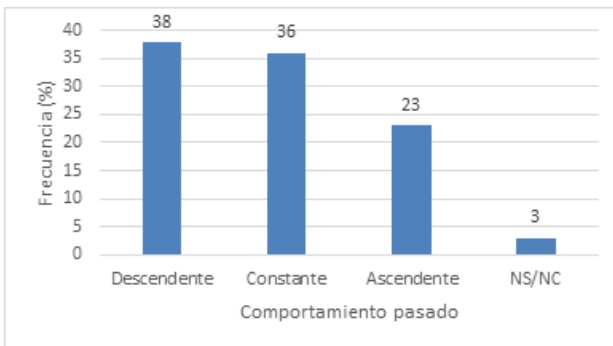


Gráfico 7. Comportamiento pasado de las ventas.

El pronóstico de ventas (Gráfico 8) para los próximos tres años (2018-2020) es alentador solo para el 35% de los casos, principalmente en Loreto y Monte Quemado, donde se concibe un escenario optimista para el desempeño de las ventas. Existe un 38% con incertidumbre sobre el futuro, sobre todo en La Banda y Capital, mientras que el 27% restante sostiene expectativas poco optimistas al respecto, situación observada con mayor proporción en Fernández.

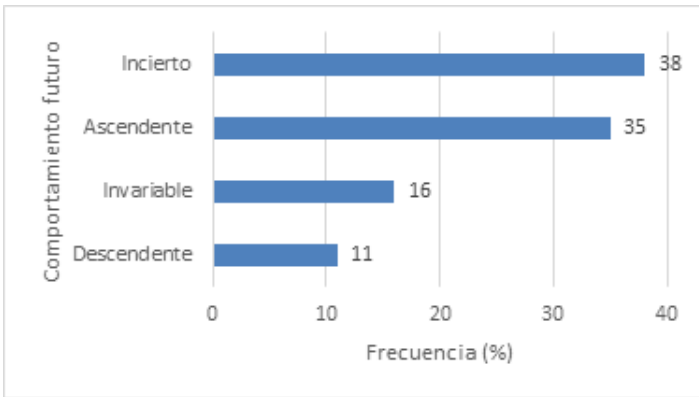


Gráfico 8. Proyección de las ventas.

La contracción de las ventas y el escenario incierto que se señala a nivel local concuerda con el desempeño a nivel nacional que describe el informe FAIMA (2019). Según dicho relevamiento, durante el año 2018 el 74% de las empresas disminuyó la producción y el 72% registró descenso en las ventas; además, se señala que las expectativas para el 2019 muestran que 8 de cada 10 empresas no esperan una recuperación.

Nivel de ganancias. Según la Tabla 4, seis de cada diez industrias consignan un nivel moderado de ganancias; cerca de un tercio reporta un grado bajo o muy bajo, situación que prevalece en Loreto. Los argumentos expuestos por los entrevistados para

explicar el nivel bajo o moderado de ganancias se repiten en todos los casos: la excesiva competencia y la actual situación de inestabilidad económica del país que origina disminución en las ventas y aumento en los costos de producción, tanto de la materia prima y la energía eléctrica como de los costos laborales e impositivos.

Nivel	(%)
Muy bajo	9
Bajo	22
Moderado	61
Alto	5
NS/NC	3

Tabla 4. Nivel de ganancias

Costos de producción. Ante la requisitoria para identificar los rubros del costo más sobresalientes, cerca de la mitad (48%) reconoce que el costo de la materia prima ocupa el primer lugar, mientras que un tercio (31%) señala al costo de la energía eléctrica como el de mayor peso.

Principales dificultades de la empresa. Entre los principales problemas de funcionamiento que enfrentan las empresas, las menciones más numerosas fueron, en orden decreciente, las siguientes: abastecimiento de la materia prima, defectos de la madera, falta de responsabilidad del personal, dificultad en el acceso al crédito, incertidumbre en las ventas y el precio de la madera, altos costos y equipamiento insuficiente y/u obsoleto.

## Pruebas de dependencia entre variables

Dado que las ganancias son el resultado que resume el éxito de un negocio, se intentó hallar una posible explicación para el nivel de ganancia que se obtiene. Se partió de la hipótesis de que esta variable podría estar asociada con otras variables relevadas en la encuesta tales como el grado de capacitación del personal, los años de trayectoria de la empresa en el mercado o el tipo de negocio.

Considerando que FAIMA (2019) señala que la falta de capacitación en la mano de obra de la industria maderera argentina desacelera los resultados de las inversiones y genera pérdidas en las empresas, se probó estadísticamente la dependencia entre las variables nivel de ganancia y grado de capacitación del personal. La prueba de independencia Chi-cuadrado no fue significativa; el valor del estadístico  $\chi^2$  fue de 4,36 con una probabilidad asociada de  $p=0,3601$  demostrando independencia entre ambas variables (Tabla 5).

Estadístico	Valor	gl	p
<i>Chi Cuadrado Pearson</i>	4,36	4	0,3601
<i>Chi Cuadrado MV-G2</i>	4,88	4	0,3001
<i>Coef. Conting. Cramer</i>	0,15		
<i>Coef. Conting. Pearson</i>	0,26		

Tabla 5. Pruebas Chi-cuadrado: nivel de ganancia-grado capacitación del personal

Asimismo, se probó la asociación entre las variables nivel de ganancia-antigüedad del establecimiento; también entre nivel de ganancia-antigüedad con un criterio de estratificación por tipo de establecimiento. En ambas pruebas estadísticas el valor de  $p$  resultó mayor a 0,05, lo que prueba que las variables no están asociadas.

## Fortalezas y debilidades

De los resultados hallados para las empresas madereras que conformaron el presente estudio, se pueden puntualizar las siguientes fortalezas y debilidades (Tabla 6):

Fortalezas	Debilidades
Amplia trayectoria en el mercado local.	Escasez de personal.
	Falta de capacitación en la producción y en la gestión.
Buena capacidad instalada que permitiría aumentar la producción.	Maquinaria suficiente pero obsoleta, con baja tasa de utilización.
	Predominio de la informalidad (más acentuada en Loreto).
La competitividad se enfrenta con calidad, experiencia y diseños exclusivos.	Limitada confiabilidad en el suministro de maderas.
	Baja calidad de la materia prima.
Integración tecnológica en muchos casos.	Baja o nula participación en el mercado forestal nacional.
Mediano optimismo en el futuro del sector.	Restricciones en la producción a escala. Limitaciones para el acceso al crédito.

Tabla 6. Fortalezas y debilidades de las empresas madereras

Muchas de las debilidades consignadas concuerdan con las reportadas por Pérez Alfaro (2000), quien las califica como desventajas estructurales de las PyMes en general. Dicho autor señala que las MiPyMes actúan típicamente en mercados de competencia imperfecta, formando parte de un universo donde la diferenciación juega un rol fundamental.

### Estudio de la demanda

Perfil de los consumidores. El 51% de los consumidores entrevistados fueron mujeres y el resto, hombres. La edad promedio fue de 36 años (máximo de 70 años; mínimo de 20 años).

Frecuencia de compra de productos de madera. Respecto a la frecuencia de compra, el 83% del total consignó una compra de "única vez". El porcentaje de compradores de productos de madera en el último año fue del 73% de los entrevistados. Para el resto, el tiempo transcurrido desde la última compra de algún producto de madera oscila entre uno y cinco años.

Tipo de producto comprado. En el Gráfico 9 se observa el porcentaje de consumidores para cada tipo de producto comprado. Como se puede apreciar, la demanda de muebles y de aberturas concentra el 74% de la demanda.

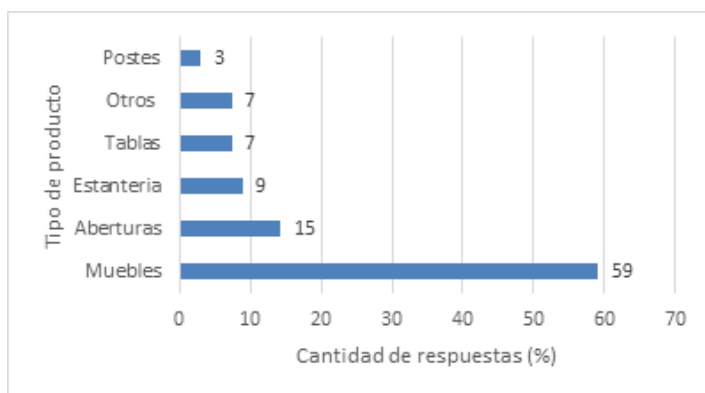


Gráfico 9. Porcentaje de consumidores, según tipo de producto

Tipo de madera demandada para muebles. Los tipos de materia prima para muebles con mayor valor porcentual son, en

orden decreciente, la melamina (tablero de partículas y MDF), el algarrobo y el pino. (Gráfico 10).

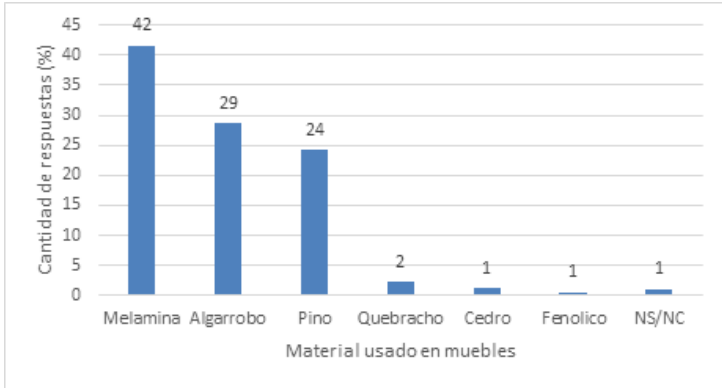


Gráfico 10. Tipo de materia prima demandada en muebles.

Tipo de madera demandada en los demás productos. Para el 91% de los consultados, las maderas más demandadas para aberturas son el pino y el algarrobo (Gráfico 11), debido a las ventajas de durabilidad y resistencia a los agentes externos de este último.

El pino y la melamina concentran el 82% del tipo de material demandado para estantería (Gráfico 12). En la demanda de tablas, el Gráfico 13 muestra que los consumidores prefieren prioritariamente la madera de pino, seguida, en menor proporción, las de quebracho y de algarrobo.

En el rubro "otros" productos, hay un predominio de uso de la madera de algarrobo y de pino (50% y 50%, respectivamente). Para postes, la madera de quebracho es la predominante.

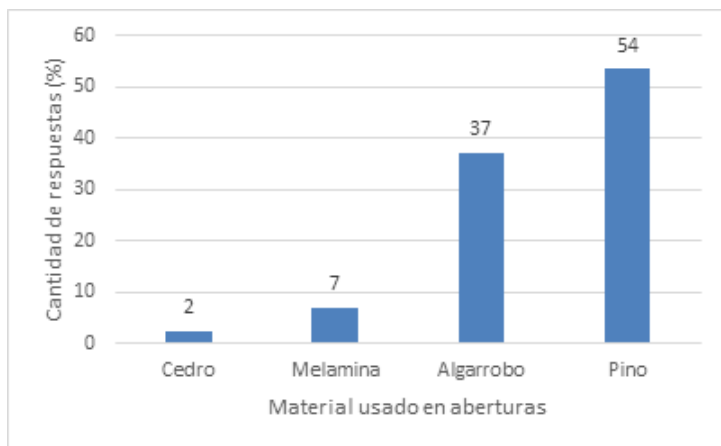


Gráfico 11. Tipo de madera demandada en aberturas.

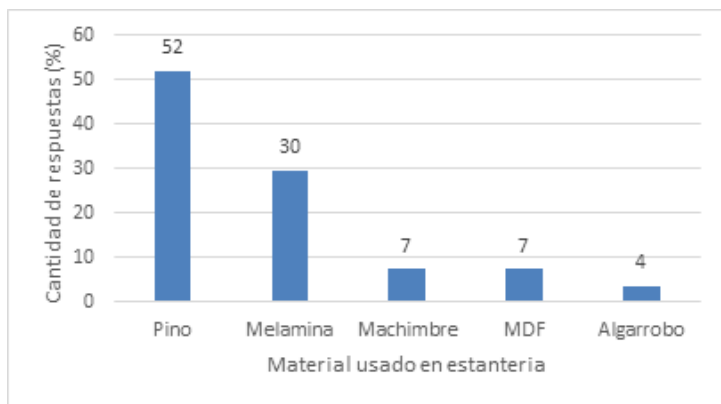


Gráfico 12. Tipo de madera demandada en estantería.



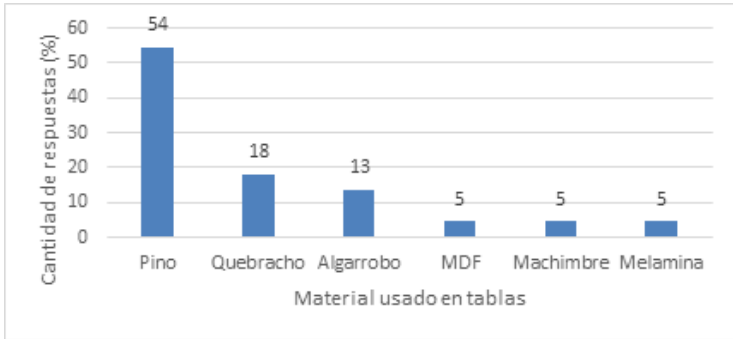


Gráfico 13. Tipo de madera demandada en tablas.

Lugar de procedencia de la madera. El 59% de los entrevistados desconoce (no sabe/no contesta = NS/NC) el lugar de procedencia de la madera de los productos que compra.

Lugar de compra del producto. La Tabla 7 presenta los resultados del porcentaje de participación de los diferentes lugares o puntos de compra de los productos de madera.

Lugar	Cantidad de respuestas	Porcentaje de respuestas
Maderera	180	60
Centro comercial	97	32
Artesano	24	8

Tabla 7. Sitios de compra del producto

Entre las razones que fundamentan la elección del sitio, los entrevistados citaron, en orden decreciente, la comodidad, la facilidad de pago, la confianza, el precio accesible, entre otras. Los dos primeros argumentos concentran casi el 70% de las respuestas (Gráfico 14).

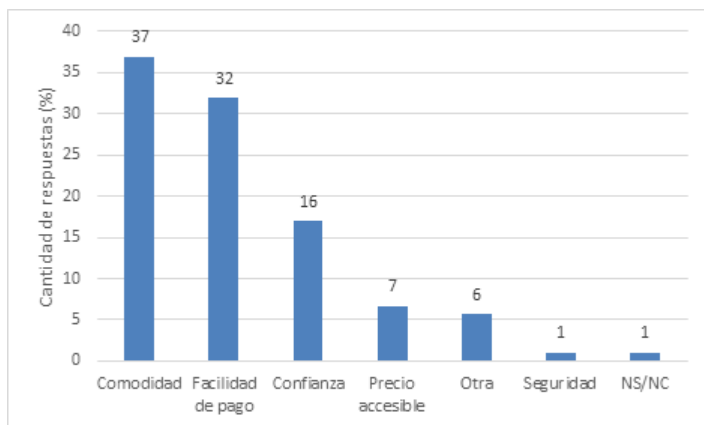


Gráfico 14. Razones de la elección del lugar de compra.

Cualidades buscadas en el producto y en el material. Respecto a los atributos del producto que más interesa al consumidor, el bloque de respuestas mostró posiciones heterogéneas. La durabilidad se sitúa en primer lugar de importancia; luego se ubica la estética, el precio y la calidad, los que agrupan el 78% de los casos (Gráfico 15).

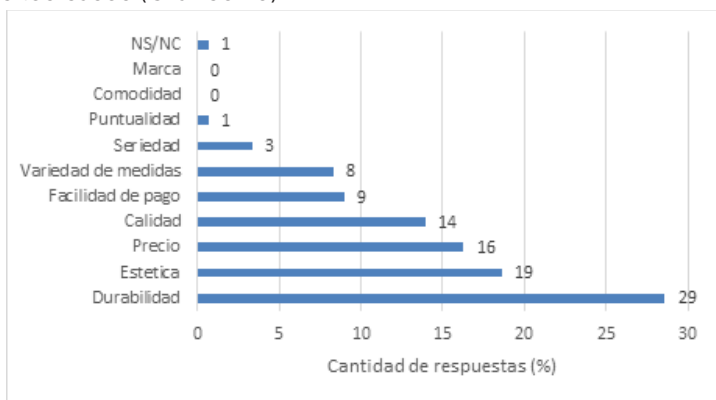


Gráfico 15. Atributos del producto más buscados por el consumidor.

En cuanto a las propiedades que el consumidor busca en la madera, las más requeridas se refieren al color y la densidad de la madera: madera oscura, liviana y lisa (32, 20 y 15% de respuestas, respectivamente).

Sustitución de la madera por otros productos. Respecto a la sustitución de la madera por otros productos, el sondeo de opinión a los entrevistados acerca de la tendencia actual a sustituir el uso de la madera por otros materiales, arrojó los resultados que se exhiben en el Gráfico 16.

Un tercio del total (33%) manifiesta su preferencia por el uso de la madera. Otro porcentaje ligeramente menor (30%) prefiere sustituir la madera por otros materiales tales como el aluminio o el plástico, ya sea porque son sustitutos de menor precio (9%), o porque la disminución del consumo de madera ayuda al cuidado del medio ambiente (21%). Por otro lado, y al margen de la preferencia por el uso/no uso de madera, un 37% de los entrevistados no emitió opinión al respecto (NS/NC), bien por desconocimiento sobre el tema del uso racional de los recursos forestales, o bien por falta de toma de conciencia al respecto.

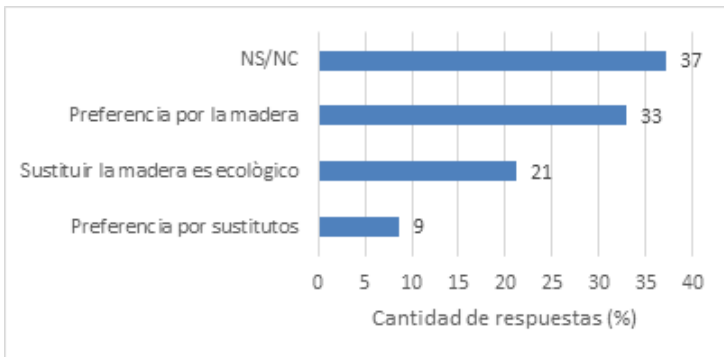


Gráfico 16. Preferencia por el uso/no uso de madera.

Disposición a pagar más (DAP) por madera proveniente de un bosque sustentable. Según el Gráfico 17, casi la mitad de los consultados (43%) respondió afirmativamente.

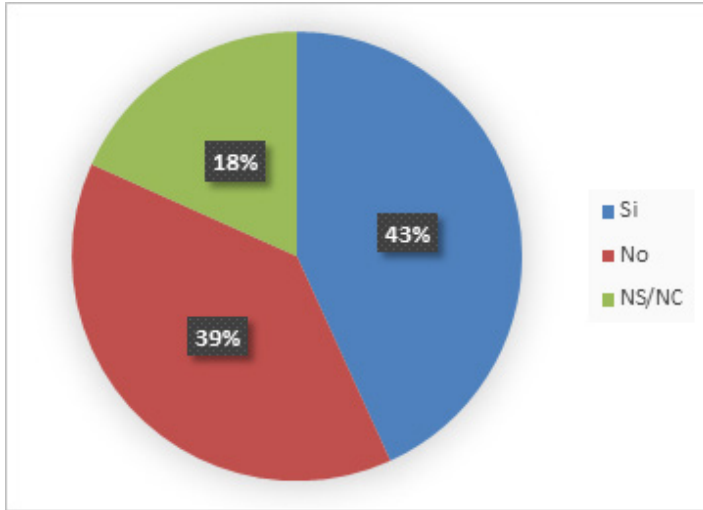


Gráfico 17. Disposición a pagar más por un producto proveniente de un bosque sustentable.

Al efectuar el entrecruzamiento de las dos últimas preguntas del cuestionario (preferencia por uso/no uso de madera versus DAP), con el fin de encontrar coherencia en las respuestas de los consumidores, se observó lo siguiente (Tabla 8): de los 99 casos que mantiene su preferencia por productos de madera, un 42% manifiesta sí estar dispuesto a pagar más por madera proveniente de un bosque sustentable, mientras que otro 42% no lo está.

De los 64 casos que se inclinan por sustituir la madera a modo de preservar el ambiente, la gran mayoría (78%) está dispuesta a pagar más por madera que procede de un uso sustentable.

De los 26 casos que prefieren sustituir la madera por otros materiales, el 66% sí está dispuesto a pagar más por productos de madera de bosques sustentables.

Finalmente, y como era de esperar, de los 112 casos NS/NC, un 55% no está dispuesto a pagar un sobreprecio por los productos de madera que adquiere.

Preferencia/DAP	Sí DAP	No DAP	NS/NC	Total
	(% de respuestas)			(cantidad respuestas)
Preferencia por sustitutos	66	19	15	26
Sustituir la madera es ecológico	78	11	11	64
Preferencia por la madera	42	42	16	99
NS/NC	20	55	25	112

(\*) DAP: disposición a pagar un "plus".

Tabla 8. Preferencia por uso/no uso de madera versus DAP (\*)

En el total de la muestra de consumidores, los resultados condujeron a deducir que hay un 30% que desconoce o no le interesa la condición de sustentabilidad de los recursos forestales. Además, un 19% tiene preferencia por el uso de madera en los productos que adquiere, sin demostrar preocupación por la preservación del ambiente. Solamente el 22% del total de entrevistados tiene conciencia del problema ambiental y demuestra preocupación por consumir menos madera, buscar sustitutos de la misma o, al menos, manifiesta disposición a pagar un "plus" por madera que proceda de un manejo sostenible.

## Conclusiones

Por el lado de la oferta, el mercado de productos madereros en la provincia de Santiago del Estero está representado por industrias que, en su mayoría, son de larga trayectoria en el sector; no obstante, se verifica una escasa proporción de establecimientos de reciente instalación, principalmente en Monte Quemado.

Son microindustrias unipersonales, con una nómina que no excede los diez empleados permanentes. Por un lado, las industrias de Monte Quemado, Campo Gallo y Capital se destacan con una plantilla de más de ocho empleados, mientras que, por el otro, las carpinterías de Loreto y Fernández operan con personal temporario o, en el mejor de los casos, con una nómina que no supera los dos operarios.

En la gran mayoría el nivel de capacitación del personal es normal-medio. Monte Quemado, Campo Gallo y Capital son los sitios con mayor proporción de mano de obra calificada.

Las industrias han quedado estancadas en cuanto a modernización tecnológica. A pesar de la obsolescencia, en líneas generales, el equipamiento se encuentra en buen estado de mantenimiento.

Las industrias santiagueñas utilizan poca variedad de especies forestales. Los establecimientos de primera transformación emplean como materia prima solamente la madera de quebracho colorado, quebracho blanco y algarrobo, provenientes del bosque nativo. Por su parte, las industrias de segunda transformación utilizan principalmente la madera de algarrobo; no obstante, un 20% de dichas industrias recurren a la madera de pino cuyo origen no es provincial. La madera nativa es de calidad regular y de diámetros variados debido a la falta de manejo del recurso forestal.

Las industrias atienden una plaza local con venta directa a compradores particulares, principalmente. Además, operan en

un mercado moderadamente competitivo.

Los rubros de costos más sobresalientes son los de materia prima y de energía eléctrica; en segundo orden aparece el de salarios.

El ritmo de ventas ha sido descendente o estable en los tres últimos años. La industria del mueble es el segmento más afectado. La caída del consumo es el principal factor que explica este comportamiento debido a la alta elasticidad de los muebles y las manufacturas de madera respecto de la reducción del salario real.

Se consigna un nivel moderado de ganancia en la mayoría de los casos, nivel asociado a la actual situación de inestabilidad económica del país, que origina una disminución en el ritmo de ventas y un aumento de los costos de producción, tanto de la materia prima y la energía eléctrica como los costos laborales e impositivos.

La caída de ventas, sumada a los aumentos de costos asociados a tarifas de servicios, tasas de interés y algunos insumos dolarizados, condiciona la rentabilidad del sector. Las expectativas para los años venideros muestran un escenario pesimista, sin posibilidades de recuperación para dos de cada tres empresas entrevistadas.

Por su parte, del análisis de la demanda de productos madereros de la provincia surge que los consumidores no son asiduos compradores de productos de madera.

La demanda de muebles y de aberturas concentra un gran porcentaje del total del consumo de productos de madera. Los muebles de melamina son los más demandados, seguidos por los muebles en madera maciza de algarrobo y de pino.

Es notable la tendencia de los consumidores a sustituir los muebles de madera maciza por otros materiales más económicos, duraderos y de bajo mantenimiento como la melamina. Para estanterías, las preferencias se concentran en el uso de maderas de bajo precio como el pino, o un sustituto más eco-

nómico que la madera como es la melamina. En la demanda de aberturas, el consumidor inclina su preferencia por la madera maciza de pino o de algarrobo, según sus posibilidades económicas. La madera de pino se presenta como muy demandada para diferentes productos, tales como tablas, aberturas y estantes, no así para muebles.

El consumidor de todos estos productos elige los lugares de compra en función de dos razones principales: la comodidad y la facilidad de pago que le ofrece el vendedor.

Los atributos más buscados en el producto que se compra son la durabilidad, en primer lugar de importancia; luego la estética, el precio y la calidad.

Si bien, según los interrogantes planteados en la encuesta, la inclinación a sustituir la madera por otros materiales se presenta como una tendencia generalizada, se verifica solamente en casi un tercio del total; otro tercio aún prefiere la madera por considerar que, para determinados productos, la misma no tiene buenos sustitutos.

La disposición a pagar un "plus" por madera proveniente de un bosque sustentable se manifiesta en menos de la mitad de la muestra en estudio, lo que pone en evidencia que aún existe poca conciencia acerca del problema de la sustentabilidad de los recursos forestales.



## Bibliografía

- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Agroindustria. (2017). *Censo Nacional de Aserraderos. Informe del relevamiento censal en la provincia de Santiago del Estero*. Buenos Aires [en línea]. Consultado el 17 de enero de 2021 en: [https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss\\_desarrollo\\_foresto\\_industrial/censos\\_inventario/\\_archivos/censo//000000\\_Provincia%20de%20Santiago%20del%20Este-ro%20\(Abril%202017\).pdf](https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_desarrollo_foresto_industrial/censos_inventario/_archivos/censo//000000_Provincia%20de%20Santiago%20del%20Este-ro%20(Abril%202017).pdf).
- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas. Subsecretaría de Programación Económica. SSPE (2019). *Informes de cadenas de valor. Forestal, papel y muebles*. Año 4 (14) [en línea]. Secretaría de Política Económica. Subsecretaría de Programación Microeconómica. Consultado el 17 de enero de 2021 en: [https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sppmicro\\_cadenas\\_de\\_valor\\_forestal\\_papel\\_muebles.pdf](https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/sppmicro_cadenas_de_valor_forestal_papel_muebles.pdf)
- Argentina. Presidencia de la Nación. Ministerio de Economía. Instituto Nacional de Estadística y Censos. INDEC (2021). *Cuentas Nacionales. Valor bruto de la producción por rama de actividad económica 2004-2020*. Cuentas Nacionales. Vol 5, n°4 [en línea]. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Consultado el 28 de mayo de 2021 en: [https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/pib\\_03\\_21B1D-23916BF.pdf](https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/pib_03_21B1D-23916BF.pdf)
- Arriaza Balmón, Manuel (2006). *Guía práctica de análisis de datos*. Sevilla, España: Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de innovación, ciencia y empresa.
- De Bedia, Gonzalo, Navall, Marcelo, Sánchez Ugalde, Rocío, Ledesma, Dominga, Salim, Nadia, Díaz, Franco, Cisneros, Felipe y Luna, María (2018). "Análisis de la demanda doméstica de leña y carbón en localidades de Santiago del Estero, Catamarca, Tucumán y Córdoba". *Quebracho Vol 26* (1,2), 90-99.

- Díaz de Rada, Vidal (2009). *Análisis de datos de encuestas*. Barcelona, España: Universitat Oberta de Catalunya. Editorial UOC.
- Federación Argentina de la Industria Maderera y Afines. FAI-MA (2019). "Observatorio FAIMA 2019". *Actualidad de la cadena de valor foresto industrial* N° 9 [en línea]. Buenos Aires: FAIMA. Consultado el 27 de enero de 2021 en <https://www.dropbox.com/s/v4agnbz8t7g2136/2019-01%20Informe%20Observatorio%20FAIMA%20%236.pdf?dl=0>
- Federico, Juan (2013). *Análisis de diagnóstico tecnológico sectorial. Madera y muebles* [en línea]. Buenos Aires: Secretaria de Planeamiento y Políticas, Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Consultado el 15 de enero de 2021 en: <http://www.mincyt.gov.ar/adjuntos/archivos/000/043/0000043735>.
- Idígoras, Gustavo (2016). *Análisis tecnológicos y prospectivos sectoriales. Prospectiva tecnológica al 2025 del complejo foresto-industrial* [en línea]. Buenos Aires: Secretaria de Planeamiento y Políticas. Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva. Consultado el 16 de enero de 2021 en: <http://www.mincyt.gov.ar/adjuntos/archivos/000/047/0000047562.pdf>.
- Pérez Alfaro, Alfredo (2000). *Control de gestión y tablero de comando*. Buenos Aires, Argentina: Editorial Depalma.
- Rojas, Patricia, Romero, Sergio y Sepúlveda, Sergio (2000). *Algunos ejemplos de cómo medir la competitividad*. [en línea]. San José, Costa Rica: IICA. Serie Cuadernos Técnicos N° 14. Consultado el 3 de febrero de 2021 en: <http://repiica.iica.int/docs/b0241e/b0241e.pdf>.
- Sánchez Ugalde, Rocío (2012). *Mejora de la competitividad sistémica de las industrias de primera transformación mecánica de la madera. Informe final de consultoría para la instalación de un centro de capacitación*. Programa de sustentabilidad y competitividad forestal. BID 2853 OC/AR. [obra inédita].
- Santiago del Estero. Gobierno de la Provincia de Santiago del

- Estero. Ministerio de Producción, Recursos Naturales, Forestación y Tierras - Unión Industrial de Santiago del Estero (2013). *Plan Estratégico Industrial Santiago del Estero 2020* [en línea]. Consultado el 17 de enero de 2021 en: [http://uis-de.com.ar/documentos/PEI-SE\\_VERSION-IMPRESA.docx](http://uis-de.com.ar/documentos/PEI-SE_VERSION-IMPRESA.docx).
- Schimpf, Rolando, Ludueña, Myriam y Coronel de Renolfi, Marta (2018). "Diagnóstico de la industria maderera en Santiago del Estero, Argentina. La situación en Capital, Banda y Loreto". *Quebracho*. Vol. 26(1), 40-50.
- Schimpf, Rolando, Sánchez Ugalde, Rocío, Ludueña, Myriam y Coronel de Renolfi, Marta (2019). "La cadena productiva de la industria de la madera de Santiago del Estero (Argentina)". *Ingeniería Solidaria* Vol. 25(1), 1-27.
- Tetaz, Martín (2017, 22 de enero). "Toda oferta genera su propia demanda, ¿o es al revés?". Diario El Día de La Plata [en línea]. Consultado el 28 de mayo de 2021 en: <https://www.eldia.com/nota/2017-1-22-toda-oferta-genera-su-propia-demanda-o-es-al-reves>
- Umlandt, Maximiliano y Hoyos, Graciela (2018). "¿Qué sabemos del sector de la industria de la madera en Santiago del Estero?". *Quipu Forestal* Vol. 4, 22-23. Colegio de Graduados en Ciencias Forestales. Santiago del Estero.

## FISIOLOGÍA Y BIOQUÍMICA DE ESPECIES FORESTALES BAJO LA ACCIÓN DEL GLIFOSATO

DIEGO ARIEL MELONI<sup>1</sup>; MARÍA CRUZ SILVA<sup>2</sup>; DIOLINA MOURA SILVA<sup>3</sup>

### Resumen

El glifosato es un herbicida de amplio espectro, de uso frecuente en los cultivos agrícolas. Actúa inhibiendo la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS, EC 2.5.1.19), que participa en la ruta del shikimato, la cual conduce a la formación de aminoácidos aromáticos (fenilalanina, tirosina y triptófano). La brisa suele llevar a este herbicida hacia las plantaciones forestales, o el bosque nativo, proceso denominado deriva. Nuestro grupo de investigación ha estudiado las respuestas fisiológicas y bioquímicas de especies forestales al glifosato. En una primera etapa, se investigó el impacto del herbicida sobre plantines forestales y se demostró que el glifosato inhibe la fotosíntesis, produce estrés oxidativo, altera

1 Doctor en Ciencias Forestales, Facultad de Agronomía y Agroindustrias (UNSE).

2 Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

3 Doctora en Fisiología Vegetal, Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), Brasil.

la permeabilidad de las membranas celulares y la homeostasis iónica. Posteriormente, nuestro grupo demostró que el herbicida también inhibe la germinación, al disminuir la tasa respiratoria de las semillas. Este efecto se debe a la inhibición de la actividad de los complejos I y V en la membrana interna mitocondrial y, como consecuencia de ello, una menor producción de energía. En futuros ensayos se estudiará el efecto del herbicida sobre la producción de especies reactivas de oxígeno en semillas, y su impacto en la germinación.

Palabras clave: germinación, herbicidas, fisiología vegetal

### **Abstract**

Glyphosate is a broad-spectrum herbicide, frequently used in agricultural crops. It works by inhibiting the enzyme 5-enol-pyruvylshikimate-3-phosphate synthase (EPSPS, EC 2.5.1.19), which participates in the shikimate pathway, leading to the formation of aromatic amino acids (phenylalanine, tyrosine and tryptophan). The breeze usually carries this herbicide towards the forest plantations, or the native forest, a process called drift. Our research group has studied the physiological and biochemical responses of forest species to glyphosate. In a first stage, the impact of the herbicide on forest seedlings was investigated, showing that glyphosate inhibits photosynthesis, produces oxidative stress, alters the permeability of cell membranes and ionic homeostasis. Later, our group showed that the herbicide also inhibits germination, by reducing the respiratory rate of the seeds. This effect is due to the inhibition of the activity of complexes I and V in the inner mitochondrial membrane, and as a consequence, a lower energy production. Future trials will study the effect of the herbicide on the production of reactive

oxygen species in seeds, and its impact on germination.

Keywords: germination, herbicides, plant physiology

### Propiedades químicas, mecanismo de acción y metabolismo del glifosato

El glifosato fue sintetizado por primera vez por Henri Martin, en 1950; su actividad herbicida fue descubierta en 1970 por John Franz, quien realizaba investigaciones para la compañía Monsanto (Parrot, Bedry y Garrigues, 1995).

Su nombre químico es N-(fosfonometil) glicina (Figura 1) y comercialmente es formulado como una sal del ácido y un catión (Singh *et al.*, 2020).

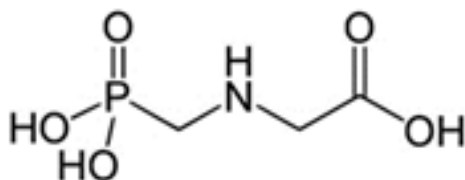


Figura 1. Estructura química del glifosato.

Pertenece a la familia de las glicinas sustituidas y es considerado como un herbicida no selectivo y de acción sistémica. Actúa sobre especies anuales y perennes, monocotiledóneas y dicotiledóneas, por lo que es utilizado como herbicida de amplio espectro, tanto en cultivos agrícolas como en plantaciones forestales (Mendes, Portugal y Calha, 2012).

Su absorción tiene lugar principalmente en los tejidos con

clorofila, y es traslocado hacia los meristemas a través del floema (McClellan, 2016). A nivel celular, aparentemente, es absorbido mediante un mecanismo activo que opera a bajas concentraciones y pasivamente a altas concentraciones (Singh *et al.*, 2020).

Su mecanismo de acción consiste en la inhibición de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS, EC 2.5.1.19) (Sammons y Gaines, 2014), que participa en la ruta metabólica del shikimato. Dicha enzima cataliza la conversión del shikimato-3-fosfato en 5-enolpiruvil-shikimato-3-fostato (Figura 2). Este proceso metabólico conduce a la síntesis de los aminoácidos aromático fenilalanina, tirosina y triptofano (Jablonkai, 2011).

Las reacciones de la vía del shikimato están relacionadas con el metabolismo central de carbono, a través de síntesis de corismato, a partir de fosfoenolpiruvato (PEP) y eritrosa-4-fosfato (E4P). El PEP y la E4P son intermediarios de la glicólisis y de la ruta de las pentosas, respectivamente. En corismato, por su parte, es precursor de los aminoácidos aromáticos y otros metabolitos, tales como flavonoides, lignina, cumarinas, alcaloides, ácido 3-indolacético, etc. (Duke y Powles, 2008).

Las plantas y la mayoría de las bacterias, incluyendo *Escherichia coli*, poseen isoformas de EPSPS susceptibles al glifosato. Algunas bacterias tales como las género *Agrobacterium* presentan isoformas de EPSPS resistentes al glifosato y han sido utilizadas para generar los cultivos transgénicos tolerantes a dicho herbicida (Maeda *et al.*, 2012).

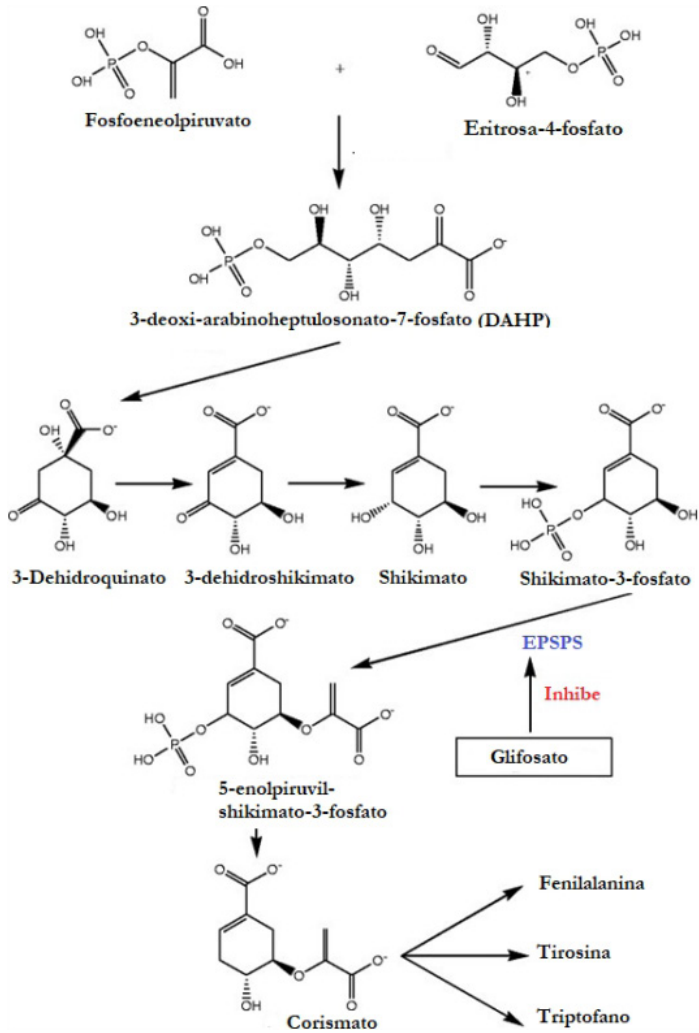


Figura 2. Ruta del shikimato, y mecanismo de acción del glifosato, como inhibidor de la enzima 5-enolpiruvilshikimato-3-fosfato sintasa (EPSPS).



Como se aprecia en la Figura 3, el glifosato es degradado en el suelo y en el agua por microorganismos a través de dos vías (Singh et al., 2020). La más importante es la vía del ácido aminometilfosfónico (AMPA), en la cual tiene lugar la ruptura de la unión carboximetil C-N del glifosato, por acción de la enzima glifosato-oxidoreductasa, a partir de la cual se obtiene ácido aminometilfosfónico (AMPA) y glioxilato. Una vía menos frecuente es la de la glicina, que consiste en la liberación del grupo fosfato, por ruptura de la unión C-P. En esta última ruta metabólica se produce sarcosina, que posteriormente es convertida en glicina por la enzima sarcosina oxidasa (Feng et al., 2010).

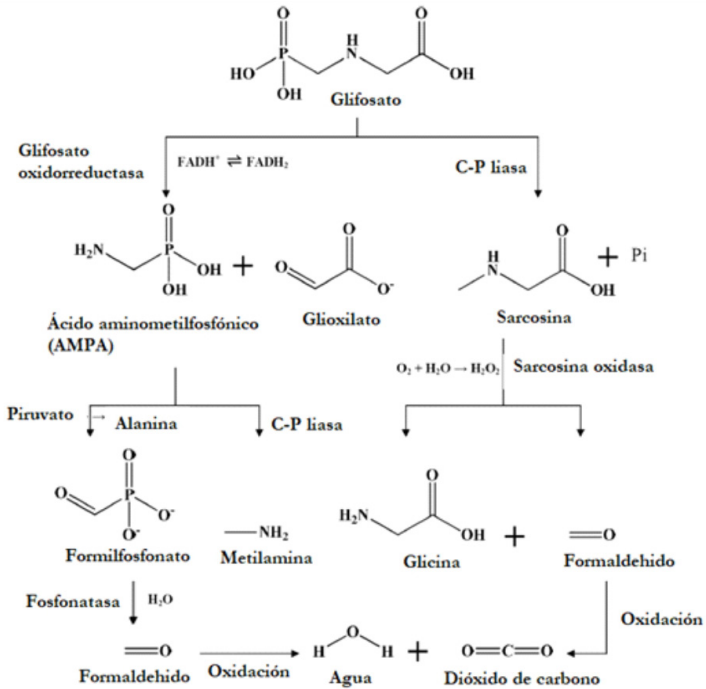


Figura 3. Rutas de degradación del glifosato

Existen controversias sobre la toxicidad del glifosato en humanos. La Agencia de Protección del Medio Ambiente de los Estados Unidos (USEPA, United States Environmental Protection Agency) lo clasificó en el grupo "E", que corresponde a sustancias que no poseen potencial carcinogénico en humanos. Por el contrario, la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC, International Agency for Research on Cancer) clasificó a este herbicida en la categoría "2a", la que corresponde a las sustancias que poseen potencial carcinogénico en humanos (Tarazona et al., 2017).

### **Efectos del glifosato sobre la fisiología de especies leñosas**

El uso recurrente de herbicidas en actividades agropecuarias o en plantaciones forestales puede ser perjudicial para el propio cultivo (Costa, Martins, Rodella y Rodrigues-Costa, 2012). Algunos estudios reportan que el contacto de herbicidas con las hojas de especies forestales puede causar considerables pérdidas en la producción de madera, como consecuencia de la disminución del crecimiento y la muerte de las plantas menos desarrolladas dentro del rodal (Minogue y Osiecka, 2015). La magnitud del daño es proporcional a la dosis recomendada para el control de malezas (Alcántara de la Cruz, Barro y Domínguez Valenzuela, 2016). Los agroquímicos aplicados sobre los cultivos agrícolas pueden ser llevados por el viento hacia el bosque nativo, fenómeno conocido como deriva. Su impacto sobre la fisiología de especies forestales es poco conocido.

Investigaciones realizadas por nuestro grupo de trabajo han demostrado que la deriva simulada de glifosato puede alterar la fisiología de plantines de especies forestales (Figura 4). En *Eucalyptus camaldulensis*, el glifosato produjo una inhibición de la fotosíntesis debido al cierre estomático y un componente no estomático (Meloni y Martínez, 2021). Este último se debió

a una disminución en la actividad de la enzima ribulosa-1,5-carboxilasa/oxigenasa (Rubisco), y fotoinhibición. También se ha demostrado que en *E. camaldulensis* el glifosato produjo estrés oxidativo a causa de la acumulación de especies reactivas de oxígeno. Como consecuencia de esto, se observó un incremento en la concentración foliar de molondialdehído (el producto de la peroxidación de lípidos) y daños en membranas celulares (Meloni et al., 2019).

En plantines de tipa colorada (*Pterogine nitens* Tul.), la deriva del glifosato produjo una disminución en las concentraciones de pigmentos fotosintéticos y alteración en la homeostasis iónica. Se destacó una disminución en los tenores foliares de Mg, K, Mo, Zn y Cu (Silva et al., 2019 a, b).



**Figura 4.** Respuestas fisiológicas de plantines de especies forestales a la aplicación de glifosato.

## **Nuevas experiencias sobre el impacto del glifosato sobre la germinación de especies nativas del Chaco Occidental**

La germinación es una etapa crítica en el ciclo ontogénico de una especie y puede ser inhibida por el estrés abiótico producido por temperaturas extremas, déficit hídrico, alta concentración salina en la solución del suelo, etc. En este proceso, es fundamental la actividad respiratoria de las semillas, ya que provee esqueletos carbonados y la energía necesaria en las rutas de biosíntesis que intervienen.

La respiración es un proceso catabólico que consta de las siguientes etapas: glicólisis, Ciclo de Krebs, cadena transportadora de electrones y fosforilación oxidativa (Taiz, Zeiger, Møller y Murphy, 2017). La cadena transportadora de electrones tiene lugar en la membrana interna mitocondrial y está constituida por cuatro complejos proteicos: NADH deshidrogenasa, succinato deshidrogenasa, citocromo bc<sub>1</sub> y citocromo c oxidasa. La fosforilación oxidativa tiene lugar en el complejo V (ATP sintasa) y consiste en la fosforilación del ADP, cuyo resultado es la producción de ATP (Figura 5).

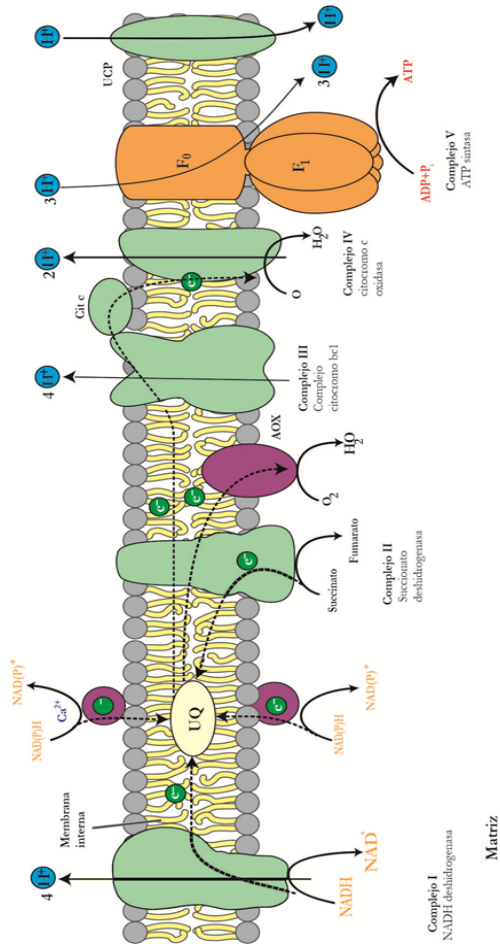


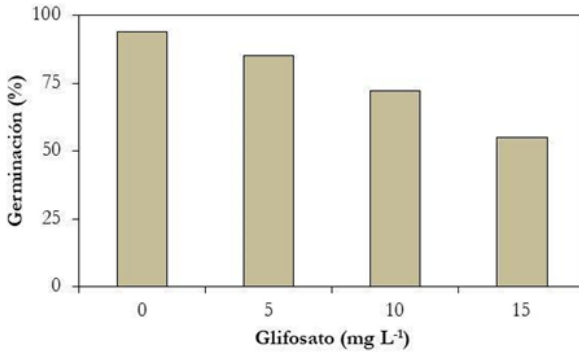
Figura 5 (página siguiente). Esquema representativo de la cadena transportadora de electrones, que tiene lugar en la membrana interna mitocondrial. Se destacan el complejo I (NADH deshidrogenasa), complejo II (succinato deshidrogenasa), complejo III (citocromo bc1), complejo IV (citocromo c oxidasa) y complejo V (ATP sintasa) (adaptado de Taiz, Zeiger, Møller y Murphy, 2017).

El efecto del glifosato sobre la germinación ha sido muy poco estudiado y los resultados obtenidos han sido contradictorios. Helander, Pauna, Saikkonen y Saloniemi (2019) demostraron que el glifosato inhibe significativamente la germinación de la cebada (*Hordeum vulgare*) y el nabo (*Brassica rapa*). Piotrowicz-Cieslak, Adomas y Michalczyk (2010) reportaron una leve inhibición de la germinación del mastuerzo (*Lepidium sativum*). No existen referencias sobre el efecto del glifosato en la germinación de especies leñosas.

En una nueva etapa del proyecto, se está estudiando el efecto de bajas concentraciones de glifosato sobre la germinación de especies nativas y su metabolismo respiratorio. El objetivo es determinar el impacto de la deriva del herbicida sobre el banco de semillas en la región del Chaco Occidental. El trabajo es realizado en conjunto entre investigadores de la UNSE y la Universidad Federal do Espírito Santo (Brasil).

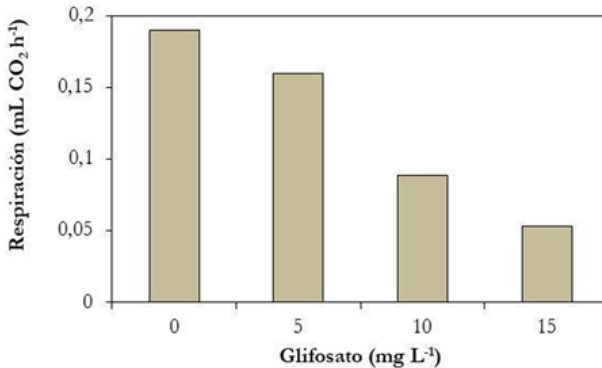
En los ensayos se hicieron germinar lotes de 50 semillas de algarrobo blanco (*P. alba*) entre toallas de papel humedecidas con agua destilada, o soluciones de glifosato en concentraciones de 5, 10 y 15 mg L<sup>-1</sup>. Se consideraron germinadas las semillas en las que se observó emergencia de la radícula y de los cotiledones. En esas semillas, se midió la actividad respiratoria mediante un sistema cerrado y el uso de un analizador de gases. También se analizó la actividad de los complejos I y V de la membrana interna mitocondrial, siguiendo las técnicas descriptas por Gomes et al. (2017).

La germinación de algarrobo blanco fue inhibida por todas las dosis de glifosato, en relación al testigo (Figura 6). El efecto más marcado se observó con la dosis de 15 mg L<sup>-1</sup> de glifosato, en la que la germinación fue 42 % menor que en el testigo.



**Figura 6.** Germinación de semillas de algarrobo blanco (*P. alba*) incubadas en dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de 4 repeticiones.

Todas las dosis de glifosato ensayadas inhibieron la respiración en semillas de algarrobo blanco (Figura 7). El efecto fue muy marcado con las dosis de 10 y 15 mg L<sup>-1</sup>, en las que se observó una disminución de 53 y 72 %, respectivamente, en relación al testigo.



**Figura 7.** Respiración en semillas de algarrobo blanco (*P. alba*) germinadas en dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de 4 repeticiones.

Este resultado demuestra que el glifosato afecta directamente el metabolismo mitocondrial en semillas de algarrobo blanco, el cual se suma a su efecto sobre la ruta del shikimato. También sugiere que la inhibición en la germinación de semillas de algarrobo blanco se debió (al menos en parte) a una menor disponibilidad de ATP.

Existen pocas referencias sobre el efecto del glifosato en la respiración de vegetales. En hojas de maíz, dosis de hasta 1,7 g L<sup>-1</sup> de glifosato no alteraron la respiración (López-Braña, Delibes y García-Olmedo, 1984). Gomes et al. (2017) reportaron que dosis de 5 a 50 mg L<sup>-1</sup> glifosato inhibieron la germinación de *Dimorphandra wilsonii*, y que dicha inhibición estuvo relacionada con una disminución en la actividad respiratoria.

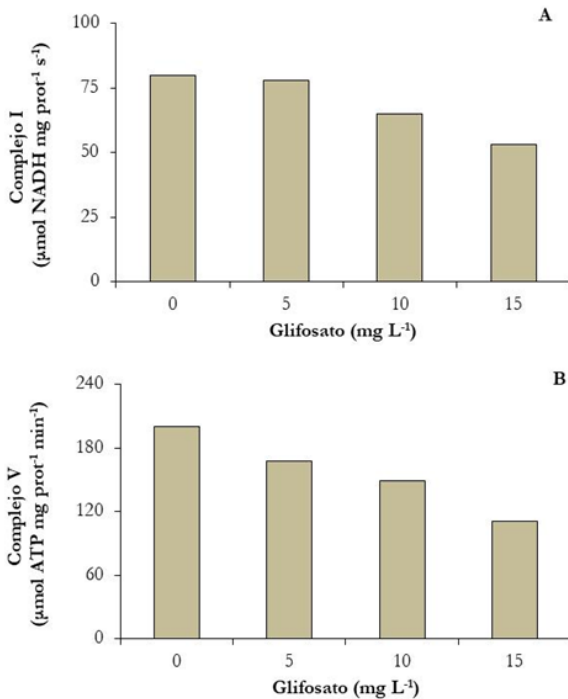
Para determinar el mecanismo de inhibición de la respiración en semillas de algarrobo blanco, en el laboratorio de Bioquímica de la Universidad Federal do Espírito Santo, nuestro equipo determinó la actividad de los complejos I y V de la membrana interna mitocondrial. El complejo I (NADH deshidrogenasa) participa del bombeo de H<sup>+</sup> desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembrana. La actividad de los complejos I, II y III contribuye a la formación de un gradiente electroquímico de H<sup>+</sup> entre la matriz mitocondrial y el espacio intermembrana. Posteriormente, en el complejo V (ATP sintasa) se acopla el ingreso de H<sup>+</sup> hacia la matriz mitocondrial, a la fosforilación del ADP, con la consecuente formación de ATP (Taiz et al., 2017).

La actividad del complejo I fue inhibida a partir de 10 mg L<sup>-1</sup> de glifosato (Figura 8A), en 19% con respecto al testigo. La dosis de 15 mg L<sup>-1</sup> produjo una reducción del 34% en la actividad de dicho complejo. En contraste con este resultado, todas las dosis del herbicida estudiadas produjeron inhibición de la actividad del complejo V (Figura 8B). Debido a que 5 mg L<sup>-1</sup> de glifosato no afectaron la actividad del complejo I, pero inhibieron la actividad del complejo V, es probable que el her-



bicida también haya actuado a nivel de los complejos II y III. Resultados similares fueron reportados en *Dimorphandra wilsonii* (Gomes et al., 2017).

Estos resultados concuerdan con lo observado por Gomes y Juneau (2016) en mitocondrias de hojas *Lemna minor*. En dicha especie, el glifosato inhibió la actividad de los complejos I, II, y III, y condujo a la formación de  $H_2O_2$ , que sería responsable del estrés oxidativo.



**Figura 8.** Actividad de los complejos I (A) y V (B) de la membrana interna mitocondrial en semillas de algarrobo blanco (*P. alba*) germinadas con dosis crecientes de glifosato. Los valores son medias de 4 repeticiones.

Esta investigación sugiere que la deriva del glifosato desde los cultivos hacia el bosque nativo podría tener un impacto ambiental considerable, ya que alteraría la biología del banco de semillas al inhibir su metabolismo respiratorio y la germinación. Para corroborar este supuesto, es necesario realizar nuevos ensayos a campo, ya que en el suelo el glifosato puede ser degradado por los microorganismos, o precipitar a pH alcalino (Duke et al., 2012). La disponibilidad de glifosato en el suelo también está afectada por la composición mineral del mismo; se ha demostrado que altas concentraciones de fósforo aumentan su absorción en raíces (Duke et al., 2012).

Nuestro grupo de investigación continúa profundizando esta línea de trabajo. Se están realizando ensayos conjuntos con el equipo de fisiología vegetal de la Universidade Federal de Viçosa (Brasil), en los que se estudia el impacto del herbicida sobre la producción de especies reactivas de oxígeno en semillas de especies nativas. También se correlacionará el metabolismo de especies reactivas de oxígeno con la germinación y la respiración.

## Bibliografia

- Alcántara de la Cruz, Ricardo; Barro, Francisco y Domínguez Valenzuela, José Alfredo (2016). "Physiological, morphological and biochemical studies of glyphosate tolerance in Mexican Cologania (*Cologania broussonetii* (Balb.) DC.)". En *Plant Physiology and Biochemistry*. (98), pp. 72-80.
- Costa, Neumarció V.; Martins, Dagoberto; Rodella, Roberto A. y Rodrigues-Costa, Andréia C.P. (2012). "Alterações anatómicas foliares em plantas de *Brachiaria subquadriora* submetida à aplicação de herbicidas". En *Planta Daninha*. (30), pp. 253-261.
- Duke, Stephen O. y Powles, Stephen B. (2008). "Glyphosate: a once-in-a-century herbicide". En *Pest Management Science*. (64), pp. 319-25.
- Duke, Stephen O.; Lydon, John; Koskinen, William C.; Moorman, Thomas B.; Chaney, Rufus L. y Hammerschmidt, Raymond (2012). "Glyphosate effects on plant mineral nutrition, crop rhizosphere microbiota, and plant disease in glyphosate-resistant crops". En *Journal Agricultural and Food Chemistry*. (60), pp. 10375-10397.
- Feng, Paul C.C.; Jacob, Claire A.; Martino-Catt, Susan J.; Cerny, Eric; Elmore, Greg A.; Heck, Gregory R.; Huang, Jintai; Kruger, Warren M.; Malven, Marianne; Miklos, John A.; Padgette, Stephen R. (2010). "Glyphosate-Resistant Crops: Developing the next Generation Products". En *Glyphosate Resistance in Crops and Weeds: History, Development and Management*. New York: John Wiley.
- Gomes, Marcelo P. y Juneau, Philippe (2016). "Oxidative stress in duckweed (*Lemna minor* L.) induced by glyphosate: is the mitochondrial electron transport chain a target of this herbicide". En *Environment pollution*. (208), pp. 402-409.
- Gomes, Marcelo P.; Cruz, Fernanda V.; Bicalho, Elisa M.; Borges, Felipe V.; Fonseca, Marcia B.; Juneau, Philippe y Garcia, Queila S. (2017). "Effects of glyphosate acid and the glyphosate-commercial formulation (Roundup) on Di-

- morphandra wilsonii seed germination: Interference of seed respiratory metabolism". En *Environmental pollution*. (220), pp. 452-459.
- Helander, Marjo; Pauna, Anna; Saikkonen, Kari y Saloniemi, Irma. (2019). "Glyphosate residues in soil affect crop plant germination and growth". En *Science Reports*. (9), pp. 1 – 9.
- Jablonkai, Istvan (2011). "Molecular Mechanism of Action of Herbicides". En: Hasaneen, Mohammed N. *Herbicides - Mechanisms and Mode of Action*. IntechOpen [en línea]. <https://www.intechopen.com/books>
- López-Braña, Isidoro; Delibes, Ángeles. y García-Olmedo, Francisco (1984). "Effects of glyphosate on isolated maize mitochondria". En *Journal of Experimental Botany*. (35), 905-911.
- Maeda, Hiroshi y Dudareva, Natalia. (2012). "The Shikimate Pathway and Aromatic Amino Acid Biosynthesis in Plants". En *Annual Review of Plant Biology*. (63), pp. 73-105
- McClellan Roger O. (2016). "Evaluating the potential carcinogenic hazard of glyphosate". En *Critical Review Toxicology*. (46), pp. 1-2.
- Meloni, Diego A.; Targa, María G.; Fraño, Alicia; Ledesma, Ramón; Silva, María C. y Catán, Alejandra. (2019). "La deriva de glifosato inhibe la fotosíntesis y produce estrés oxidativo en *Eucalyptus camaldulensis*". En *Revista de Ciencias Forestales Quebracho*. (27), pp. 5-12.
- Meloni, Diego A. y Martínez, Carlos A. (2021). "Physiological responses of *Eucalyptus camaldulensis* (Dehnh.) to simulated glyphosate drift". *Biofix Scientific Journal*. (6), pp. 46-53.
- Mendes, Simão; Portugal, João y Calha, Isabel (2012). "Prospecção de resistência ao glifosato em populações de *Conyza canadensis*". En *Revista de Ciências Agrárias*. 35 (36), pp. 322-328.
- Minogue, Patrick J. y Osieka, Anna. (2015). "Selective herbicides for cultivation of *Eucalyptus urograndis* clones". En *International Journal of Forestry Research*. (5), pp. 1-12.
- Parrot, Françoise; Bedry, Régis. y Garrigues, Jean-Claude

- Favarel. (1995). "Glyphosate Herbicide Poisoning: Use of a routine aminoacid analyzer appears to be a rapid method for determining glyphosate and its metabolite in biological fluids". En *Clinical Toxicology*. 33 (6), pp. 695-698.
- Piotrowicz-Cieslak, Agnieszka I.; Adomas, Barbara y Michalczyk, Dariusz J. (2010). "Different glyphosate phytotoxicity of seeds and seedlings of selected plant species". En *Polish Journal of Environment Studies*. (19), pp. 123-129.
- Sammons, Robert D. y Gaines, Todd A. (2014) Glyphosate resistance: state of knowledge. *Pest Management Science*. 70 (9), pp. 1367-77.
- Silva, María C.; Ledesma, Ramón; Catán, Alejandra; Targa, Gabriela; Fraño, Alicia y Meloni, Diego A. (2019 a). "El glifosato disminuye el índice de verdor y las concentraciones de potasio y magnesio en tipa colorada (*Pterogyne nitens* Tul)". *Libro de resúmenes XVI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*. San Miguel de Tucumán, pp. 89-90.
- Silva, María C.; Ledesma, Ramón; Catán, Alejandra; Targa, Gabriela; Fraño, Alicia y Meloni, Diego A. (2019 b). "La deriva de glifosato produce deficiencia de micronutrientes en *Pterogyne nitens* Tul". *Libro de resúmenes XVI Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*. San Miguel de Tucumán, p.100.
- Singh, Simranjeet; Kumar, Vijay; Datta, Shivika; Wani, Abdul B.; Dhanjal, Daniel S.; Romero, Romina y Singh, Joginder (2020). "Glyphosate uptake, translocation, resistance emergence in crops, analytical monitoring, toxicity and degradation: a review". En *Environmental Chemistry Letters*. (18), pp. 663-702.
- Tarazona, José V.; Court-Marques, Daniele; Tiramani, Manuela; Reich, Hermine; Pfeil, Rudolf; Istace, Frederique y Crivellente, Federica. (2017). "Glyphosate toxicity and carcinogenicity: a review of the scientific basis of the European Union assessment and its differences with IARC". En *Archives of Toxicology*. 91 (8), pp. 2723-2743.

Taiz, Lincoln; Zeiger, Eduardo; Møller, Ian M. y Murphy, Angus (2017). *Fisiología e desenvolvimento vegetal*. Porto Alegre, Brasil: Editorial ARTMED.

# PROPIEDADES REOLÓGICAS, TEXTURALES Y SENSORIALES DE GALLETAS DULCES LIBRES DE GLUTEN A BASE DE HARINA DE ARROZ, HABAS, MISTOL Y CHAÑAR

MYRIAM ELIZABETH VILLARREAL<sup>1</sup>; KARINA ELIANA COSTA MACÍAS<sup>2</sup>;  
NATALIA EMILCE LESCANO<sup>3</sup>; FERNANDA QUIROGA<sup>4</sup>;  
PABLO RIBOTTA<sup>5</sup>; NORMA CRISTINA SAMMAN<sup>6</sup>

## Resumen

La utilización de harinas de frutos de leguminosas arbóreas subexplotadas del monte Chaco-Santiagoño y leguminosas

1 Directora del proyecto "Desarrollo de procesos y equipos destinados a la producción de alimentos a partir de frutos silvestres del monte semiárido argentino". Doctora en alimentos: orientación ingeniería. FAyA (UNSE).

2 Ingeniera en alimentos. FAyA (UNSE).

3 Doctora en alimentos: orientación ciencias. Facultad de Agro-  
nomía y Agroindustrias (FAyA), Universidad Nacional de Santiago  
del Estero (UNSE).

4 Ingeniera agrónoma. Facultad de ciencias agropecuarias  
(UNC).

5 Doctor en Bioquímica de alimentos. Facultad de Ciencias  
Exactas (UNLP).

6 Doctora orientación tecnología de alimentos. Facultad de In-  
geniería (UNT).

(LG) adaptadas a la región andina argentina para la elaboración de productos horneados como galletas constituye una alternativa para adicionar nutrientes de valor, dado que son productos de elevado consumo, de fácil acceso y de gran aceptabilidad. Sin embargo, su incorporación presenta dificultades en la formación y manejo de la masa. El objetivo del presente capítulo fue evaluar la composición química, las propiedades físicas, texturales y sensoriales de galletas LG, elaboradas a base de harinas de arroz (A), mistol (M), chañar (Ch) y habas (H). La composición proximal de las galletas se realizó conforme a las técnicas oficiales de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), se determinaron las propiedades físicas, se realizó el perfil textural, de color y sensorial mediante un panel de evaluadores entrenados y se desarrolló una prueba de preferencia con un panel sensorial no entrenado. Las galletas exhibieron un elevado contenido proteico y de fibra ( $\approx 32$  y  $\approx 7\text{g}/100\text{g}$  galleta b.s., respectivamente) y un bajo contenido de lípidos ( $\approx 11\text{g}/100\text{g}$  galleta b.s.) en comparación con galletas comerciales LG ( $\approx 15\text{g}/100\text{g}$  galleta b.s.); registraron color pardo-rojizo en el espacio de color CIELAB; mostraron una elevada dureza (55-58N) y un bajo factor de expansión ( $\approx 4,6-4,7$ ) influenciado por el tipo de proteína, fibra y almidón presente. Sin embargo, presentaron una buena aceptación sensorial, sobre todo en el parámetro de sabor; la formulación preferida por el 70% del panel fue aquella con mayor cantidad de M. Las propiedades texturales de dureza y de crocancia podrían ser mejoradas a partir del uso de aditivos que perfeccionen sus características. Estos resultados evidencian el potencial de las harinas estudiadas como ingredientes funcionales ricos en nutrientes esenciales, que amplía las materias primas posibles de ser consumidas por personas intolerantes al gluten.

**Palabras clave:** Mistol; Chañar; Habas; Galletas; Libre de gluten



## Abstract

The use of fruit flours from underexploited tree legumes from region Chaco-Santiagoño and gluten-free and legumes (GF) adapted in the Andean region of Argentina for the production of baked products such as cookies, constitutes an alternative to add valuable nutrients to society, given that they are products of high consumption, easily accessible and highly acceptable. However, its incorporation presents difficulties in the formation and handling of the dough. The objective of this chapter was to evaluate the chemical composition, physical, textural and sensory properties of GF cookies, made from rice flours (A), mistol (M), chañar (Ch) and beans (H). The proximal composition of the cookies was carried out according to the official AOAC techniques, the physical properties were determined, a textural, color and sensory profile was made by a panel of trained evaluators and a preference test was developed with a sensory panel untrained. The biscuits exhibited high protein and fiber content ( $\approx 32$  and  $\approx 7\text{g}/100\text{g}$  biscuit (d.b.), respectively) and a low lipid content ( $\approx 11\text{g}/100\text{g}$  biscuit (d.b)) compared to commercial LG biscuits ( $\approx 15\text{g} / 100\text{g}$  biscuit (d.b.)), were reddish-brown in color in the CIELAB color space, showed high hardness (55-58N), showed a low expansion factor ( $\approx 4.6$ - $4.7$ ) influenced by the type of protein, fiber and starch present, however, they presented a good sensory acceptance, especially in the flavor parameter, being the preferred formulation for 70% of the panel the one with the highest amount of M. The textural properties of hardness and crispness could be improved from the use of additives that improve their characteristics. These results show the potential of the flours studied as functional ingredients rich in essential nutrients, which broadens the raw materials that can be consumed by people intolerant to gluten.

Keywords: Mistol; Chañar; Habas; Cookies; Gluten free

## Introducción<sup>7</sup>

Las galletas son uno de los productos de panadería más populares. Aportan energía y poseen una larga vida útil, son atractivas y aceptadas por todas las franjas etarias, con una amplísima variedad y disponibilidad en el mercado y de costo accesible (Hamdani, Wani y Bhat, 2020; Kaur, Sharma, Kumar, Panghal, Kaur y Gat, 2017; Rodríguez-García, Laguna, Puig, Salvador y Hernando, 2012; Sandhu, Godara, Kaur y Punia, 2017).

El término galletas o "cookies", como se las denomina en muchas partes del mundo, se refiere a un producto horneado que generalmente contiene tres ingredientes principales: harina, azúcar y grasa. Presentan bajo contenido de agua (1–5%) (Chevallier, Colonna, Valle, Della y Lourdin, 2000) y pueden incluir otros componentes, en menores cantidades, tales como levadura y/o leudantes químicos, jarabes, sal, emulsionantes, colorantes, vitaminas, entre otros (Pareyt, Wilderjans, Goesaert, Brijs y Delcour, 2008)

Las galletas no requieren el desarrollo de una red de gluten; su textura depende principalmente de la gelatinización del almidón, del azúcar y la materia grasa, los cuales aseguran que las mismas sean crujientes y friables, por lo que el gluten desempeña un rol secundario durante la elaboración y en su calidad final (Engleson y Atwell, 2008; Hamdani *et al.*, 2020). Estas características convierten a las galletas en un producto apto y

7 Agradecimientos: al Dr. Pablo Ribotta y al Instituto Superior de Investigación, Desarrollo y Servicios en Alimentos ISIDSA - Instituto de investigación de doble dependencia (CONICET- UNC) Universidad Nacional de Córdoba por el equipamiento y al personal puesto a disposición para realizar este trabajo.

atractivo para nuevos desarrollos, a partir de materias primas locales LG subutilizadas y de buen valor nutricional, destinados a personas con patologías asociadas a la intolerancia al gluten.

En las últimas décadas, se realizaron numerosas investigaciones tendientes a mejorar el perfil nutricional de las galletas debido a la deficiencia de nutrientes de los ingredientes que generalmente se emplean o por pérdida de los mismos durante el proceso de elaboración. Así es que se informan trabajos de galletas elaboradas con adición de ácido fólico y de vitaminas (Bilgiçli, İbanog y Herken, 2007; Santucci, Alvim, Faria y Sgarbieri, 2003), con caseína de la leche (Kruger y Mann, 2003), fibras dietéticas y proteínas vegetales, (Matias, De Oliveira, Gertrudes y Dos Anjos Magalhães, 2005; Öztürk, Özboy, Cavidoğlu y Köksel, 2002<sup>a</sup> study of drying process was done. The physico- chemical characterization included the determination of pH, soluble solids, total acidity, protein, lipids, fiber, ash, moisture and total and reducing sugars. Total coli forms, yeasts and molds counting were the microbiological analyses conducted. Enriched cookies were prepared by adding 5, 10 and 15% (of total weight), con harinas de legumbres (Zucco, Borsuk y Arntfield, 2011), entre otros estudios.

Las galletas LG se elaboran, usualmente, con harinas de arroz y/o de mandioca. Estas materias primas tienen como principal componente el almidón y escaso aporte de proteínas y fibras, por eso suelen realizarse combinaciones con algunos otros ingredientes, tales como maíz, proteínas, fibras, grasas, hidrocoloides y enzimas específicas con el fin de mejorar las propiedades organolépticas y nutricionales de estos productos (Hamdani *et al.*, 2020).

Si bien se ha producido una gran variedad de galletas elaboradas a partir de harinas de trigo o de otros cereales con gluten, aún son escasos los desarrollos y estudios en galletas sin gluten, aptas para personas que padecen patologías asociadas a este componente. Estos desarrollos implican estudios

multidimensionales para garantizar la calidad y seguridad del producto final, por lo que es importante llevar adelante evaluaciones físicas, químicas, texturales y sensoriales (olor, sabor, textura y apariencia) (Ameur, Mathieu, Lalanne, Trystram y Birlouez-Aragon, 2007). En este contexto, el desarrollo de productos sin gluten se ha convertido, en la última década, en un verdadero desafío para la industria alimentaria (Hamdani et al., 2020).

Por todo lo expuesto, cobra relevancia profundizar los estudios físicos y texturales que aporten a evaluar la dureza y la fracturabilidad, factores importantes en la aceptabilidad del consumidor, sobre todo si se considera que las galletas LG, generalmente, presentan una elevada dureza y una aceptabilidad menor a la esperada (Martínez-Jiménez, Rodríguez-Sandoval y Hernández-Gómez, 2015).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar la composición química, las propiedades físicas, texturales y sensoriales de galletas LG, elaboradas a base de arroz y harinas de mistol, chañar y habas.

## **Materiales y métodos**

### *Formulación y elaboración de galletas dulces*

Se realizaron dos formulaciones (F1 y F2) con harinas de A, H, Ch y M, de tamaño de partículas entre 500 y 177  $\mu\text{m}$  (Tabla 1). Las proporciones de harinas de M:Ch empleadas surgen de evaluaciones previas realizadas con panelistas entrenados que indicaron los valores máximos aceptables de M y Ch sin que incidan negativamente en el sabor, de manera de elaborar galletas libres de saborizantes artificiales y evaluar así las características nutricionales y sensoriales de las mismas sin interferencias de otros sabores y mejoradores. Por otro lado,

se consideraron proporciones de M y Ch de hasta un 20% b.s. en función a los estudios realizados por Macías, Binaghi, Zuleta, Ronayne de Ferrer, Costa y Generoso (2013), quienes reportaron que tecnológicamente es posible elaborar galletas mediante incorporación de proporciones de hasta un 20% de harina de algarroba (*Prosopis alba*).

Ingredientes	F1 (g/100g)	F2 (g/100g)
A	36,65	36,65
H	12,21	12,21
M	6,10	4,89
Ch	6,10	7,33
Azúcar	14,05	14,05
Margarina	14,05	14,05
Polvo para hornear	0,85	0,85
Ac. Cítrico	0,18	0,18
Agua	9,80	9,80

Tabla 1. Formulación de galletas con diferentes concentraciones

Para la elaboración de las galletas LG se siguió el procedimiento mostrado en la Figura 1. Este se inició con un cremado de la materia grasa, el azúcar, el ácido cítrico y el polvo de hornear. Esta etapa se realizó en una batidora pedestal planetaria de doble movimiento (360° del batidor y alrededor del tazón), de 800 W de potencia y 6,5 litros de capacidad, durante 2 min a 220 rpm, utilizando un gancho de masa pesada. Una vez finalizado el cremado, se incorporó la totalidad del agua y se batió durante 1 min a igual velocidad.



Figura 1. Procedimiento de elaboración de galletas LG.

El formado de la masa se realizó en la misma batidora a una velocidad de 50 rpm durante 2 min, mediante la incorporación de las harinas previamente mezcladas. Se retiró

la masa del tazón, se formó un cilindro con las manos y se lo estiró sobre una tarima niveladora de 7 mm de espesor (Figura 2); para ello se utilizó un palo para amasar de teflón, que se pasó sobre la masa seis veces hacia un lado y seis veces hacia otro. El cortado se llevó a cabo mediante el uso de un cortante circular de 45 mm de diámetro. Los círculos de masa se colocaron en bandejas de acero inoxidable y se llevaron al horno de aire estanco a una temperatura de  $165 \pm 2$  °C durante 19 min. Finalmente, las galletas se enfriaron sobre las mismas bandejas a temperatura ambiente ( $25 \pm 1$  °C) durante 1 h.



Figura 2. Cortado en círculo de masas del mismo espesor.

### *Composición proximal*

A las dos formulaciones de galletas dulces LG se les determinó humedad, cenizas y lípidos según las técnicas oficiales 27.03.06, 32.10.5 y 32.1.14 de la AOAC (AOAC, 1995), respectivamente. Por otro lado, el contenido de fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) se determinó por el método descrito por Prosky y Lee (1996), y el contenido de proteínas se midió conforme al método informado por Hach, Bowden, Kopelove y Brayton (1987) con un factor de conversión de nitrógeno de 6,25. El contenido de hidratos de carbono se calculó por diferencia. El aporte energético fue calculado teniendo en cuenta que 1 g de proteína aporta 4 kcal, 1 g de hidratos de carbono aporta 4 kcal y 1 gramo de grasa aporta 9 kcal. La composición proximal obtenida en las galletas formu-

ladas experimentalmente fue comparada con la información nutricional declarada en la rotulación legal de galletas comerciales dulces LG sabor vainilla (FC1) y sabor chocolate (FC2) (marca SMAMS Gluten Free), formulada a base de almidón de maíz, azúcar, aceite de girasol alto oleico y harina de arroz, elaboradas en provincia de Buenos Aires, Argentina.

### *Pérdida de humedad durante el horneado*

A las dos formulaciones de galletas dulces LG se les determinó el contenido de humedad a distintos tiempos durante el proceso de cocción (3, 6, 10, 13, 16 y 19 min). Para ello se dispusieron las galletas en placas de acero en horno a  $165 \pm 2$  °C, luego fueron retiradas del horno a los distintos tiempos y se procedió a determinar la humedad siguiendo la técnica oficial de la AOAC 27.03.06; para realizar esto, las galletas fueron desmenuzadas sobre cajas de Petri previamente taradas y colocadas en estufa hasta alcanzar pesada constante.

## **Propiedades físicas**

### *Factor galleta (FG) y humedad final (HF)*

El FG, expresado en porcentaje, se determinó según el método descrito por León, Rubiolo y Añon (1996), el cual establece la relación entre el diámetro y la altura de cuatro galletas tomadas al azar.

Cada unidad de galleta se consideró como una repetición experimental.



*Volumen específico (VE)*

El VE de las galletas se determinó siguiendo la técnica descrita por Cristina, López, Julia, Pereira y Gonçalves (2004), para lo cual se tomó por quintuplicado cuatro unidades de galletas en simultáneo. Una hora posterior a la finalización del proceso de horneado, se calculó el VE según la ecuación 1

$$VE \left( \frac{cm^3}{g} \right) = \frac{\text{Volumen de galleta } (cm^3)}{\text{peso de las galletas } (g)} \quad (1)$$

*Mediciones de color*

Las mediciones de color se realizaron en 10 puntos diferentes sobre la superficie superior y la base de las galletas a través de un equipo Minolta Chroma Meter CR-400/410 (Konica Minolta Photo Imaging, Inc, New Jersey, USA) y los resultados fueron expresados usando las coordenadas cartesianas del espacio de color CIELAB.

*Ensayos de textura en galletas*

La dureza de las galletas horneadas se midió usando un analizador de textura TA.XT2i (CT3 Brookfield - Stable MicroSystems, Surrey, Reino Unido). Se empleó una plataforma de doblado y una sonda de flexión en 3 puntos (HDP / 3PB) con una celda de carga de 5 kg (Figura 3). La dureza, pico de fuerza máxima, se midió en cinco galletas por cada formulación. La fuerza máxima para romper las galletas se informa como fuerza de fractura en N.

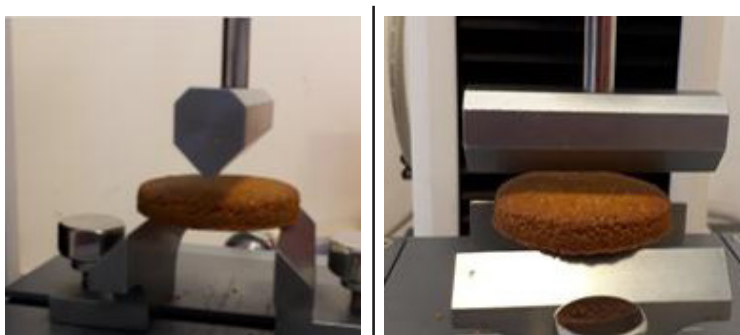


Figura 3. Sonda de flexión aplicada en el ensayo textural de galletas LG.

El procedimiento de trabajo en el analizador de textura se configuró bajo las siguientes condiciones: fuerza medida en modo compresión; velocidad de prueba previa: 1,0mm/s; velocidad de prueba: 3,0 mm/s; velocidad de prueba posterior: 10,0 mm/s; distancia: 5,0 mm; fuerza de disparo: 50 g.

La fuerza máxima se registró como dureza en un punto en el que las galletas se rompieron en dos piezas principales (Chakraborty y Kumbhar, 2011). Esta fuerza máxima (g) en el punto de ruptura representa la resistencia a la rotura de la galleta.

### *Análisis sensorial en galletas dulces*

Para realizar el análisis sensorial en galletas dulces, se aplicaron dos tipos de metodologías: una descriptiva y otra afectiva.

Las pruebas sensoriales se llevaron a cabo en el Instituto de Ciencia y Tecnología de los Alimentos (ICyTA) de la Facultad de Agronomía y Agroindustrias, de la Universidad Nacional de Santiago del Estero.

### *Análisis descriptivo cuantitativo*

Para llevar a cabo el análisis descriptivo, se trabajó en dos etapas con un panel sensorial compuesto por 10 (diez) profesionales pertenecientes al Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA), previamente entrenados en evaluación sensorial (ES) de harinas, galletas y productos regionales.

Durante la primera etapa, se trabajó en la búsqueda y elección de los descriptores que representan las propiedades sensoriales de las muestras en estudio. Para ello, durante las reuniones sucesivas, se trabajó con el panel en una mesa redonda y los atributos sensoriales a analizar surgieron a partir del consenso entre el grupo de descriptores, su intensidad y orden.

En la segunda etapa, se procedió a realizar las ES de las muestras de galletas individuales.

Las muestras de galletas fueron dispuestas en placas de plástico idénticas codificadas con números aleatorios de tres dígitos y se sirvieron con agua para enjuagar la boca entre muestra y muestra. Se solicitó a los panelistas que en primera instancia quiebren la galleta con la mano y las lleven a la boca y que, una vez en boca, se mastique con los dientes molares hasta la deglución.

Los distintos perfiles sensoriales de galletas se realizaron evaluando, por separado, los siguientes atributos: textura manual, textura en boca, gusto y sabor (ISO 13299:2016).

La Tabla 2 muestra un resumen de los atributos definidos a evaluar y su rango de medición, desarrollada especialmente para galletas en base a los factores mencionados para establecer los descriptores críticos.

Atributo	Descriptorios	1	2	3	4	5
Textura manual	Dureza	Nada	Levemente	Poco	Duro	Muy duro
Textura en boca	Dureza	Poco duro	Levemente	Poco	Duro	Muy duro
	Arenoso	Poco arenoso	Levemente	Poco	Arenoso	Muy arenoso
	Crocante	Poco crocante	Levemente	Poco	Crocante	Muy crocante
		Poco crocante				Muy crocante
Gusto	Dulce	Nada	Levemente	Poco	Duro	Muy
	Amargo	Nada	Levemente	Poco		Muy
Sabor	Astringente	Nada	Levemente	Poco	Astringente	Muy
	Picante	Nada	Levemente	Poco	Picante	Muy
	Retrogusto	Nada	Levemente	Poco	Medio	Muy

Tabla 2. Descriptorios críticos definidos por pruebas sensoriales preliminares en galletas

Una vez definidos los descriptorios, se cuantificó su intensidad. Para los atributos de textura manual, textura en boca, gusto y sabor se utilizó una escala de intensidad lineal no estructurada, de una longitud de 10 cm para cada descriptor definido en la Tabla 2.

Para llevar a cabo el análisis descriptivo cuantitativo, se utilizaron cabinas individuales, iluminadas con luz blanca, a una temperatura de 25 °C.

### *Pruebas afectivas*

Se realizó una prueba afectiva del tipo prueba de preferencia, con un panel piloto compuesto por 30 (treinta) alumnos de la

carrera de ingeniería en alimentos de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, considerando que el producto está aún en la fase de prueba. Em esta prueba se le solicitó al panel que indique la formulación de mayor preferencia.

## **Análisis estadístico**

### *Determinaciones experimentales*

El análisis estadístico de los resultados se realizó a través del análisis de variancia de una sola vía (ANOVA) para un nivel de significancia ( $p \leq 0,5$ ), usando el software InfoStat (Balzarini, Gonzales, Tablada y Casanoves, 2008). La diferencia significativa entre medias se evaluó a través del test de comparaciones múltiples de Tukey.

### *Ensayos sensoriales*

El análisis estadístico de los valores medios para los términos descriptivos del ensayo sensorial se realizó utilizando el análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) para un nivel de significancia  $p \leq 0,05$ , usando el software InfoStat (Balzarini *et al.*, 2008). La diferencia significativa entre medias se evaluó a través del test de comparaciones múltiples de Fisher.

## **Resultados y discusiones**

### *Composición proximal*

La composición centesimal de las galletas elaboradas a partir de M, Ch y H y de las galletas comerciales LG se muestran en

la Tabla 3. Las dos formulaciones experimentales no presentaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre sí, sin embargo, fueron estadísticamente diferentes con respecto a FC1 y FC2. El contenido proteico en F1 y F2 fue de hasta 10 veces superior con respecto a FC1 y aproximadamente 9 veces superior a FC2, resultado que se puede atribuir, principalmente, a la incorporación de harina de habas en F1 y F2, de alto contenido de proteínas (26,81 g/100g b.s). Los valores obtenidos son tres veces superiores a los informados para galletas LG elaboradas a partir de harina de coco; arroz y soja; harinas de quinua, amaranto, soja y mandioca informados por Queiroz, Felinto, Garruti y Pádua (2017); Mariani, Ruffo de Oliveira, Rua, Rafaela, Oliveira Rios y Guimarães Venzke (2015) y Vieira, Freitas, Silva y Barbosa (2015), respectivamente.

Componentes (g/100g b.s.)	F1	F2	FC1	FC2
Proteínas	31,70 ± 0,55 <sup>a</sup>	32,27 ± 1,32 <sup>a</sup>	2,60 <sup>b</sup>	3,90 <sup>b</sup>
Lípidos	11,80 ± 0,13 <sup>b</sup>	11,63 ± 0,01 <sup>b</sup>	14,00 <sup>a</sup>	15,00 <sup>a</sup>
FDT	7,01 ± 0,03 <sup>a</sup>	7,15 ± 0,12 <sup>a</sup>	1,00 <sup>b</sup>	1,10 <sup>b</sup>
FDS	0,94 ± 0,07 <sup>a</sup>	0,85 ± 0,06 <sup>a</sup>	-	-
Cenizas	1,84 ± 0,07 <sup>a</sup>	1,95 ± 0,06 <sup>a</sup>	-	-
HC	47,65 <sup>c</sup>	46,60 <sup>c</sup>	79,00 <sup>a</sup>	67,00 <sup>b</sup>
kcal/100 g	423,60 <sup>a</sup>	420,15 <sup>a</sup>	452,00 <sup>b</sup>	415,00 <sup>a</sup>

Tabla 3. Composición proximal de galletas libres de gluten

Valores medios ± DS (n = 3). Superíndices distintos en la misma fila muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre formulaciones según test de Tukey.

F1: Formulación 1, F2: Formulación 2, FC1: Formulación

Comercial SMAMS sabor vainilla, FC2: Formulación Comercial SMAMS sabor chocolate.

El contenido de lípidos de las formulaciones F1 y F2 fue del orden del 11%, significativamente menor al contenido que presentan las galletas comerciales (14 a 15%), lo cual convierte a las galletas dulces LG, formuladas a partir de harinas no tradicionales, en un producto atractivo y saludable. El agregado de las harinas de H, M y Ch aportan significativamente al contenido de FDT ( $\approx 7\%$ ), el cual es 7 veces superior al aporte de FDT provisto por FC1 y FC2. Las formulaciones desarrolladas en este trabajo presentan un porcentaje de FDT 68% mayor al de galletas dulces LG a base de arroz informadas por Giuberti, Marti, Fortunati y Gallo (2017), seis veces superior a los valores informados por Vieira et al. (2015) en galletas de pseudoce-reales, soja y mandioca, y dos veces superior a los valores informados por Labuckas, Lamarque, Alicia y Maestri (2016) para galletas de maní. Asimismo, se observó un contenido de materia grasa 3 veces menor que el de las galletas elaboradas a partir de mezclas con harina de soja, quinua y amaranto (Vieira et al., 2015) y 1,9 % mayor contenido de minerales.

El contenido de humedad de las galletas osciló entre el 4,3 % y el 5,3 % (Tabla 3). Esta tendencia puede ser aceptable ya que los niveles de humedad en las galletas recién horneadas suelen ser inferiores al 5% (Cauvain y Young, 2009). El bajo contenido de humedad transforma a las galletas en un producto estable y con una buena proyección de vida útil.

Las formulaciones de galletas dulces LG mostraron un buen contenido proteico, de FDT y de minerales y un reducido contenido de materia grasa, lo cual demuestra la mejora composicional y nutricional de los productos formulados, en comparación con productos comerciales similares elaborados a base de harinas de arroz, mandioca y maíz.

### *Pérdida de humedad durante el horneado*

Durante el horneado de las galletas, se producen cambios que modifican de manera sustancial su estructura: desnaturalización de proteínas, reacciones de Maillard, evaporación de agua, fusión de las grasas, expansión de gases, entre otros (Chevallier *et al.*, 2000). Estas modificaciones inciden en las propiedades físicas del producto; la pérdida de humedad ocasiona la consecuente reducción de peso, disminución de la densidad, desarrollo de textura y porosidad y cambios en la coloración. Según informa Pareyt *et al.* (2008), durante el horneado, primero ocurre una fundición de la grasa, seguida por una hidratación del almidón y la desnaturalización de algunas proteínas. La masa se expande, el agua comienza a evaporarse y, posteriormente, se produce el colapso de la masa, lo que marcará el diámetro final de la galleta (Chevallier *et al.*, 2000) y determinará el factor galleta.

Si se tiene en cuenta la importancia de la pérdida de humedad durante el horneado, se muestra en la Figura 4 la variación de la humedad con el tiempo. La humedad inicial de las masas F1 y F2 no mostraron diferencias entre ellas (20,13 % y 20,55 %, respectivamente); sin embargo, se observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la humedad final (5,30% y 4,35%, respectivamente). Estos resultados pueden deberse al efecto de la FDT presente y a la proporción de FDS e FDI, y resulta F2 la formulación con menor proporción de FDS.

El final del horneado se define por dos sucesos interrelacionados: el cambio de color y el contenido en humedad, y generalmente se determinan por un examen visual y un ensayo de humedad (Manohar y Rao, 1999). Posteriormente al horneado, las galletas pierden humedad al enfriarse y en esta etapa adquieren su textura final (Manley, 1998).



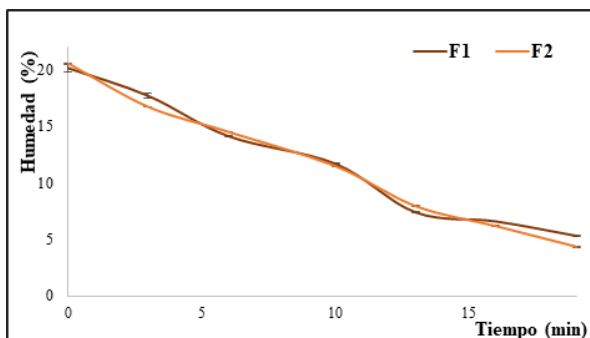


Figura 4. Pérdida de humedad durante el horneado en distintos puntos de la galleta.

### *Propiedades físicas*

Las propiedades físicas de las galletas LG se expresan en la Tabla 4. El peso de las galletas en sus dos formulaciones estuvo en el orden de 14 g/unidad, sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas. El peso obtenido en este trabajo fue semejante al de galletas elaboradas con harina de amaranto (Chauhan, Saxena y Singh, 2015) y mayor al de galletas de harinas compuestas LG de semillas de *Pithecellobium jiringa* (Jack), (6 a 10g/unidad) informadas por Cheng y Bhat (2016), cuya composición química fue la siguiente: 23g lípidos/100 g galleta b.s, 9 g proteína/100 g galleta b.s. y 1,3 g fibra cruda/100 g galleta b.s. Los VE fueron bajos ( $\approx 1\text{cm}^3/\text{g}$ ), lo que indica una estructura compacta. Este comportamiento podría explicarse por una mayor retención de agua ocasionada por el alto contenido de proteínas y de fibra de la masa (Giuberti, Rocchetti, Sigolo, Fortunati y Gallo, 2017), lo cual también puede observarse en la humedad final de las galletas, del orden del 5 %. Las galletas F1 mostraron valores de HF significativamente mayores ( $p < 0,05$ ),

probablemente debido al mayor contenido de FDS que aporta la harina de M.

El FG o factor de expansión ( $\approx 4,7$ ) no mostró diferencias significativas entre formulaciones, puesto que se observaron diámetros y espesores muy similares para las dos proporciones de harinas de M:Ch empleadas. El factor de expansión es un parámetro que evalúa la capacidad de crecimiento de las galletas durante el horneado (Olapade y Adeyemo, 2014). Los valores bajos del FG obtenidos en este trabajo muestran una baja capacidad de incremento de su diámetro; esto ocasionó galletas pequeñas y de peso elevado (Ferreira, Luparelli, Schieferdeckem y Vilela, 2009).

Propiedades	F1	F2
Peso (g)	14,80 $\pm$ 0,41 <sup>a</sup>	14,17 $\pm$ 0,34 <sup>a</sup>
VE (cm <sup>3</sup> /g)	0,97 $\pm$ 0,17 <sup>a</sup>	1,22 $\pm$ 0,16 <sup>b</sup>
Diámetro (mm)	46,22 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	46,17 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>
Altura (mm)	9,62 $\pm$ 0,02 <sup>a</sup>	9,68 $\pm$ 0,03 <sup>a</sup>
FG	4,66 $\pm$ 0,06 <sup>a</sup>	4,71 $\pm$ 0,13 <sup>a</sup>
HF (g/100g)	5,30 $\pm$ 0,10 <sup>a</sup>	4,30 $\pm$ 0,01 <sup>b</sup>
Dureza (N)	58,40 $\pm$ 5,40 <sup>a</sup>	55,60 $\pm$ 9,20 <sup>a</sup>

Tabla 4. Propiedades físicas de galletas dulces LG

Valores medios  $\pm$  DS, (n=3). Medias con superíndices distintos en la misma fila muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre formulaciones según test de Tukey. F1: Formulación 1; F2: Formulación 2.

El factor de expansión se encuentra principalmente influenciado por el contenido de proteína, fibra y almidones de las harinas, componentes que tienen una alta capacidad de absorción de agua durante el amasado, lo que disminuye el FG

(Agu, Ezeh y Jideani, 2014) namely acha (*Digitaria exilis* Staph; en consecuencia, el desafío en las nuevas formulaciones se centra en generar un equilibrio entre los componentes, a fin de obtener una galleta de bajo peso y tamaño medio (Ordorica-Falomir y Paredes-López, 1991).

Los resultados obtenidos en este trabajo son menores a los informados para galletas de amaranto ( $\approx 8$ ) (Chauhan, Saxena y Singh, 2016) y de arroz de granulometría gruesa ( $\approx 15$ ) y similares a los de mezclas de harinas de mandioca y poroto ( $\approx 4$ ) (Olapade *et al.*, 2014) y de harina de arroz y alfalfa ( $\approx 5,4$ ) (Giuberti *et al.*, 2017b).

La textura es uno de los parámetros claves para evaluar la calidad de las galletas (Jan, Saxena y Singh, 2016). La dureza de las galletas F1 y F2 (58,4 y 55,6 N, respectivamente) no variaron significativamente ( $p < 0,05$ ) con las distintas proporciones de harinas de M:Ch. El alto contenido de proteínas y de fibra y los bajos contenidos de materia grasa contribuirían a la textura obtenida (Giuberti *et al.*, 2017b; Olvera-Hernández, Aparicio-Trápala, Ble-Castillo, Muñoz-Cano y Rodríguez-Blanco, 2012). En ambos casos, la textura de las galletas mostró una baja resistencia al corte; esto corresponde a galletas poco quebradizas y con una cohesividad moderada de la masa. Estos resultados son similares a los informados por Jan *et al.* (2016) para galletas de harinas de habas y quinua negra.

Las propiedades texturales de suavidad y de crocancia pueden mejorarse a partir de agregados de materia grasa y de un estudio más profundo acerca de las interacciones agua-almidón-proteína-fibra. En este sentido, se abre un nuevo marco de posibles estudios para las galletas LG a base de M, Ch y H.

### *Color de las galletas*

Los parámetros de cromaticidad de la base y de la superficie

de las galletas se muestran en la Tabla 5. Se observaron galletas oscuras, con valores bajos de luminosidad (L) en ambas formulaciones, probablemente debido al alto contenido de proteínas que se correlaciona de manera inversa con L y al color oscuro de las harinas de M y Ch. Los valores de L, de la superficie y de la base, no mostraron diferencias significativas entre formulaciones ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, la base de cada formulación fue más oscura (L: 33-35) con respecto a la superficie (L: 46-47). Esto, probablemente, se deba al contacto de la base de las galletas con el metal de soporte durante el proceso de horneado, lo cual favoreció la transferencia de calor, el incremento de temperatura y, por lo tanto, las reacciones de Maillard fueron más acentuadas. El FG bajo, debido a masas poco elásticas, ocasionó expansiones pobres, galletas pequeñas de diámetro reducido que, al haber generado áreas limitadas de calentamiento, disminuyó las reacciones de Maillard de la superficie, comparativamente con las áreas de la base de cada formulación.

Ga- lle- tas	Parámetros de cromaticidad					
	Superficie			Base		
	L	a*	b*	L	a*	b*
F1	46,0 ± 2,0 <sup>ab</sup>	13,3 ± 0,6 <sup>aa</sup>	29,1 ± 0,8 <sup>ab</sup>	33,2 ± 2,3 <sup>aa</sup>	14,6 ± 1,1 <sup>aa</sup>	20,6 ± 1,5 <sup>aa</sup>
F2	47,4 ± 1,7 <sup>ab</sup>	14,4 ± 0,8 <sup>aa</sup>	25,7 ± 6,9 <sup>aa</sup>	35,5 ± 2,2 <sup>aa</sup>	15,4 ± 1,0 <sup>aa</sup>	21,8 ± 2,9 <sup>aa</sup>

Tabla 5. Parámetros de cromaticidad de galletas dulces LG.

Valores medios  $\pm$  DS (n=3). Primeros superíndices distintos en la misma columna muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre formulaciones según test de Tukey. Medias con segundos superíndices distintos en la misma fila muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en el mismo parámetro, entre la base y la superficie de una misma formulación según test de Tukey. F1: Formulación 1; F2: Formulación 2.

En términos de  $a^*$  (enrojecimiento) y  $b^*$  (amarillez), se observó que los valores de  $a^*$  en la superficie y en la base estuvieron en el orden de 14 a 15, sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ambas áreas ni entre formulaciones. Estos valores de  $a^*$  reflejan la tonalidad amarronada de las galletas. Por su parte, los valores de  $b^*$ , entre 26 a 20 en la superficie y 20 a 22 en la base, no mostraron diferencias significativas entre formulaciones; no obstante, las galletas F1 tuvieron valores significativamente más bajos del parámetro en la base (menos amarillas). Las galletas tuvieron un color pardo típico de las reacciones de Maillard, muy diferente al color blanco-pálido característico de las galletas de arroz o a los amarillos de las galletas maíz. El color pardo rojizo-amarronado de estas dos galletas es debido principalmente al color natural de las harinas de M y Ch y a las reacciones de Maillard que tienen lugar entre los azúcares reductores y los aminoácidos que provocan el efecto de pardeamiento, y al proceso de caramelización de los azúcares durante el proceso de horneado (Chevallier *et al.*, 2000). Los resultados son comparables a los publicados por Granato y Ellendersen (2009), quienes observaron que las galletas elaboradas con harina compuesta de maní y almendras mostraron valores de L,  $a^*$  y  $b^*$  similares a los de este estudio. En el mismo sentido, Chauhan *et al.* (2016) reportaron valores similares de L para galletas con sustitución de harinas de amaranto, siendo menor los valores de L obtenidos en función de la mayor proporción de harina de amaranto incorporada.

### *Evaluación sensorial en galletas*

En la Figura 5 se muestran los resultados obtenidos de la evaluación de los atributos sensoriales de las galletas elaboradas

a partir de la mezcla de harina de M, Ch, H y A. Ambas formulaciones tuvieron calificaciones muy similares en los distintos atributos evaluados.

Los parámetros texturales tuvieron una puntuación alta de dureza manual y bucal del orden de 8,2-8,3, y no se observaron diferencias entre ambos parámetros ni entre formulaciones. Asimismo, los panelistas percibieron una baja crocancia en el producto, 0,99 para F1 y 0,96 para F2. Estos valores se corresponden con los resultados obtenidos en el texturómetro, que indican galletas poco quebradizas con alta resistencia al corte.

La arenosidad percibida también fue baja, del orden de 1,35-1,46; este es un atributo que puede relacionarse con la fuerte cohesividad observada en la masa. Los consumidores, generalmente, prefieren galletas de baja dureza, aunque ciertos grupos prefieren productos con una estructura más rígida (Sanchez-Rivera, Bello-Pérez, Tovar, Mario y Agama-Acevedo, 2019). Sin embargo, los resultados obtenidos indican que es necesario profundizar en estudios tendientes a mejorar la textura del producto.

En las dos formulaciones estudiadas se observó que el gusto dulce fue el predominante sobre los cinco descriptores evaluados, pues se obtuvieron valores de 7,69 para F1 y 7,71 para F2. El gusto amargo, el sabor picante y la astringencia fueron débilmente percibidos por los panelistas.

Las galletas F1 tuvieron un mayor gusto amargo (2,43) y una mayor astringencia (2,56) que las F2 (1,66 y 1,82, respectivamente), probablemente debido al mayor contenido de harina de M. Por otro lado, los panelistas no manifestaron haber percibido que las galletas tuvieran sabor a "poroto", que es característico de las harinas de legumbres, por lo que la presencia de la harina de H no produjo una incidencia negativa en el producto.

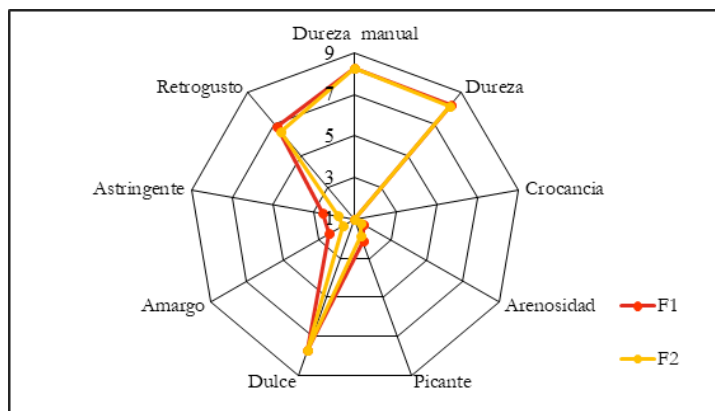


Figura 5. Perfil de sabor y textura en galletas dulces LG.

El retrogusto presentó valores elevados (6,8 para F1 y 6,5 para F2) en las galletas de ambas formulaciones, sin que el mismo se constituya en un sabor desagradable. Estos resultados son similares (Cheng y Bhat, 2016) a los que presentan galletas elaboradas a partir de harinas compuestas de materias primas no-veles de sabores característicos, no neutros.

Las galletas F1 fueron las preferidas por los panelistas (70%) por sobre las galletas F2 (30%), a pesar de que las mismas tuvieron una mayor astringencia y amargor.

## Conclusiones

Las galletas elaboradas con harinas de M, Ch y H presentaron características muy positivas respecto a sus propiedades nutricionales, físicas y sensoriales. Las galletas exhibieron un mayor aporte proteico, de fibra dietaria y de minerales en comparación con galletas LG a base de arroz, y valores menores a los comerciales en contenido graso. Los ensayos sensoriales

presentaron un elevado grado de aceptación sensorial, de los cuales el perfil de sabor fue el ensayo que arrojó resultados altamente positivos; esto merece destacarse ya que el producto no tuvo incorporación de saborizantes ni de mejoradores del sabor. Las propiedades texturales de dureza y de crocancia podrían ser mejoradas a partir de la incorporación de aditivos que perfeccionen sus características físicas finales,; esta podría constituir una nueva línea de futuras investigaciones.

Por lo antes expuesto, es posible concluir que las harinas de frutos silvestres de leguminosas arbóreas de M y de Ch y de granos de H poseen un gran potencial como ingredientes funcionales y ricos en nutrientes esenciales. Estos resultados propician una posible exploración comercial de harinas compuestas de arroz, mandioca, maíz con chañar, mistol y habas, lo cual aportaría nuevas opciones nutritivas de consumo para distintos consumidores y para personas con intolerancia al gluten.



## Bibliografía

- Agu, H. O., Ezeh, G. C., & Jideani, A. I. O. (2014). "Quality assessment of acha-based biscuit improved with bambara nut and unripe plantain". En *African Journal of Food Science*. 8 (5), pp. 278 – 286.
- Ameur, L. A., Mathieu, O., Lalanne, V., Trystram, G., & Bir-louez-Aragon, I. (2007). "Comparison of the effects of sucrose and hexose on furfural formation and browning in cookies baked at different temperatures". En *Food Chemistry*. 101(4), pp. 1407 – 1416.
- AOAC. (1995). *Oficial Methods of Analysis of the Association of Oficial Analytical Chemists* (16th ed.).
- Balzarini, MG, González, L., Tablada, M., Casanoves, F., Di Rienzo, JA y Robledo, CW (2008) *InfoStat. Manual del Usuario*. Córdoba, Argentina: Editorial Brujas.
- Bilgiçli, N; İbanog˘lu & Herken, E. N. (2007). "Effect of dietary fibre addition on the selected nutritional properties of cookies". En *Journal of Food Engineering*. (78), pp. 86 – 89.
- Cauvain, S. P., & Young, L. S. (2009). Bakery Food Manufacture and Quality. In U. 9600 Garsington Road, Oxford, OX4 2DQ, United Kingdom - 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014-8300 (Ed.), *Bakery Food Manufacture and Quality* (First edition).
- Chakraborty, S. K., & Kumbhar, B. K. (2011). "Influence of processing parameters on textural characteristics and overall acceptability of millet enriched biscuits using response surface methodology". En *Journal Food Scientist & Technologists*. 48 (2), pp. 167 – 174.
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2015). "Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour". En *LWT - Food Science and Technology*. 63 (2) pp. 939 - 945,
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). "Physical , textural , and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies". En *Cogent Food & Agriculture*. pp.1 – 8.

- Cheng, Y. F., & Bhat, R. (2016). "Functional, physicochemical and sensory properties of novel cookies produced by utilizing underutilized jering (*Pithecellobium jiringa* Jack.) legume flour". En *Food Bioscience*. (14), pp. 54–61.
- Chevallier, S., Colonna, P., Valle, G. Della, & Lourdin, D. (2000). "Contribution of major ingredients during baking of biscuit dough systems". En *Journal of Cereal Science*. (31), pp. 241 – 252.
- Cristina, A., López, B., Julia, A., Pereira, G., & Gonçalves, R. (2004). "Flour mixture of rice flour, corn and cassava starch in the production of gluten-free white bread". En *Brazilian Archives of Biology and Technology*. (47), pp. 63 – 70.
- Engleson, J., & Atwell, B. (2008). "Gluten-free product development". En *Cereal Foods World*. 53(4), pp. 180 – 184.
- Ferreira A. M. R.; Luparelli, P. C. M.; Schieferdeckem, M. E. M.; Vilela, R. M. (2009). "Cookies sem glúten a partir da farinha de sorgo". *Archivos Latinoamericanos de Nutricion Organo: Oficial de La Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. 59 (4), pp. 433 – 440.
- Giuberti, G., Marti, A., Fortunati, P., & Gallo, A. (2017a). "Gluten free rice cookies with resistant starch ingredients from modified waxy rice starches: Nutritional aspects and textural characteristics". En *Journal of Cereal Science*. (76), pp. 157 – 164.
- Giuberti, G., Rocchetti, G., Sigolo, S., Fortunati, P., & Gallo, A. (2017b). "Exploitation of alfalfa seed (*Medicago sativa* L.) flour into gluten-free rice cookies: nutritional, antioxidant and quality characteristics". En *Food Chemistry*. (239), pp. 679 - 687
- Granato, D., & Ellendersen, L. de S. N. (2009). "Almond and peanut flours supplemented with iron as potential ingredients to develop gluten-free cookies". En *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 29 (2), pp. 395 – 400.
- Hach, C.C.; Bowden, B.K.; Kopelove, A.B.; Brayton, S. V. (1987). "More powerful peroxide Kjeldahl digestion method". En *Journal of Association of Analytical Chemist*. 70 (5), pp. 783

– 787.

- Hamdani, A. M., Wani, I. A., & Bhat, N. A. (2020). "Gluten free cookies from rice-chickpea composite flour using exudate gums from acacia, apricot and karaya". En *Food Bioscience*. (35). doi: 10.1016/j.fbio.2020.100541.
- ISO 13299:2016. Sensory analysis. Methodology. General guidance for establishing a sensory profile.
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physico-chemical , textural , sensory and antioxidant characteristics of gluten free cookies made from raw and germinated *Chenopodium* (*Chenopodium album* ) flour. En *LWT - Food Science and Technology*. (71), pp. 281 – 287.
- Kaur, P., Sharma, P., Kumar, V., Panghal, A., Kaur, J., & Gat, Y. (2017). "Effect of addition of flaxseed flour on nutritional, physicochemical, phytochemical and antioxidant properties of cookies". En *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 18 (4), pp. 1 – 19.
- Kruger, C. L., & Mann, S. W. (2003). "Safety evaluation of functional ingredients". En *Food and Chemical Toxicology*. (41), pp.793 – 805.
- Labuckas, D.; Lamarque, A.; Maestri, D. (2016). "Harina de maní parcialmente deslipidizada : un ingrediente funcional para mejorar el valor nutritivo de productos de panificación". En *Revista Chilena de Nutrición*. 43(4), pp. 381 – 387.
- León, M.C; Rubiolo, A.E.; Anon, A. (1996). "Use of triticale flours in cookies: Quality factors". En *Cereal Chemistry*. 73 (6), pp. 779 – 784.
- Macías, S., Binaghi, M., Zuleta, A., Ronayne de Ferrer, P., Costa, K., & Generoso, S. (2013). "Desarrollo de galletas con sustitución parcial de harina de trigo con harina de algarroba (*Prosopis alba*) y avena para planes sociales". En *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 4 (2), pp. 170 – 188.
- Manley, D. J. R. (1989). *Tecnología de la Industria Galletera: Galletas, Crackers y Otros Horneados: Un Tratado Extenso, Orientado Principalmente Hacia Las Técnicas de Control de*

- Procesos*. España: Acribia, Editorial, S.A.
- Manohar, R. S., & Rao, P. H. (1999). "Effects of water on the rheological characteristics of biscuit dough and quality of biscuits". En *European Food Research and Technology*. (209), pp. 281 – 285.
- Mariani, M.; Ruffo de Oliveira, V.; Rua, R. B., Rafaela, F.; Oliveira Rios, A.; Guimarães Venzke, J. (2015). "Elaboration and evaluation of gluten-free cookies made with rice bran and rice and soy flours". En *Brazilian Journal Food of Tecnology*. 18 (1), pp. 70 – 78.
- Martínez-Jiménez, F., Rodríguez-Sandoval, E., & Hernández-Gómez, M. S. (2015). "Impacto de la adición de caboximetilcelulosa y agua en las propiedades fisicoquímicas y de calidad de pan libre de gluten". En *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*. 18 (2), pp. 445 – 454.
- Matias, M. D. F. O., De Oliveira, E. L., Gertrudes, E. & Dos Anjos Magalhães, M. M. (2005). "Use of fibres obtained from the cashew (*Anacardium occidentale*, L) and guava (*Psidium guajava*) fruits for enrichment of food products". En *Brazilian Archives of Biology and Technology*. (48), pp. 143 – 150.
- Olapade, A. A. & Adeyemo A. M. (2014). "Evaluation of cookies produced from blends of wheat, cassava and cowpea flours". En *International Journal of Food studies*. (3), pp. 175 – 185.
- Olvera-Hernández V., Aparicio-Trápala M. A., Ble-Castillo J. L., Muñoz-Cano J. M. & L. Rodríguez-Blanco, (2012). "Efecto del almidón resistente de banano (*Musa cavendish* AAA) sobre el control metabólico en ratas wistar con dieta alta en sacarosa". En *Universidad y Ciencia*. 28 (1), pp. 51 - 56.
- Ordorica-Falomir C.; Paredes-López. (1991). "Effect of safflower protein isolates on cookie characteristics". En *International Journal of Food Science & Technology*. 26 (1), pp. 39 – 43.
- Öztürk, S., Özboy, Ö., Cavidoğlu, I., & Köksel, H. (2002). "Effects of brewer's spent grain on the quality and dietary fibre content of cookies". En *Journal of the Institute of Brewing*. 108 (1), pp. 23 – 27.

- Pareyt, B., Wilderjans, E., Goesaert, H., Brijs, K., & Delcour, J. A. (2008). "The role of gluten in a sugar-snap cookie system : A model approach based on gluten – starch blends". En *Journal of Cereal Science*. 48 (3), pp. 863 – 869.
- Prosky, L., & Lee, S. C. (1996). "Dietary Fiber and Its Applications: Definitions, Analytical Methods and Their Applications". En *Natural Antioxidants and Food Quality in Atherosclerosis and Cancer Prevention*. (5), pp. 303 – 310.
- Queiroz, A. M., Felinto, R., Garruti, S., & Pádua, A. De. (2017). "Preparation and characterization of gluten free cookies enriched with coconut flour: an alternative for celiacs". En *Brazilian Journal of Food*. (20), pp. 1 – 11.
- Rodríguez García, J., Laguna, L., Puig, A., Salvador, A., & Her- nando, I. (2012). "Effect of fat replacement by inulin on textural and structural properties of short dough biscuits". *Food and Bioprocess Technology*. (6), pp. 2739 – 2750.
- Sanchez Rivera, M. M., Bello-pérez, L. A., Tovar, J., Mario, M., & Agama Acevedo, E. (2019). "Esterified plantain flour for the production of cookies rich in indigestible carbohydrates". En *Food Chemistry*. (292), pp. 1 – 5.
- Sandhu, K. S., Godara, P., Kaur, M., & Punia, S. (2017). "Effect of toasting on physical, functional and antioxidant properties of flour from oat (*Avena sativa* L.) cultivars". En *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 16 (2), pp. 197 – 203.
- Santucci, M. C. C., Alvim, I. D., Faria, E. V. de, & Sgarbieri, V. C. (2003). "Efeito do enriquecimento de biscoitos tipo água e sal, com extrato de levedura (*Saccharomyces* sp.)". En *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 23 (3), pp. 441 – 446.
- Vieira, T. S., Freitas, F. V., Silva, L. A. A., & Barbosa, W. M. (2015). "Efeito da substituição da farinha de trigo no desenvolvi- mento de biscoitos sem glúten Effect of wheat flour substi- tution on the development of gluten-free cookies". En *Bra- zilian Journal of Food Technology*. 18 (4), pp. 285 – 292.
- Zucco, F.; Borsuk, J. & Arntfield S. (2011). "Evaluación física y nutricional de galletas de trigo suplementadas con harinas de legumbresde diferentes tamaños de particulas". *LWT* -

1096 La investigación científica en la universidad y sus aportes a la sociedad

*Food Science and Technology. 44 (10), pp. 2070 - 2076.*

## ILUMINACIÓN EFICIENTE Y SOSTENIBLE

SILVINA LUJÁN RIGALÍ<sup>1</sup>; MARÍA I. CASTRO SAAVEDRA<sup>2</sup>;  
RUBÉN CORBALÁN<sup>3</sup>; FRANCO FERNÁNDEZ<sup>4</sup>; EDGAR OSCAR PALMA<sup>5</sup>;  
MARÍA VICTORIA SARACCO<sup>6</sup>; JOSÉ LUIS TORRES<sup>7</sup>

### Resumen:

El Proyecto: "Eficiencia energética en alumbrado público: evaluación, diagnóstico, y propuesta para la ciudad de Santiago del Estero" aborda la necesidad de reconvertir el diseño, la explotación y el mantenimiento de los sistemas de alumbrado público, que comprenden la iluminación vial; y ornamental de espacios verdes y edificios.

Esta reconversión solo será eficiente mediante un plan estratégico de iluminación que estructure las decisiones de expansión y mejora basadas en un diagnóstico preciso de la

- 1 Mag. Ing. Electromecánica (Luminotecnia) (Dir.),
- 2 Mag. Arquitecta
- 3 Ing. Electromecánico
- 4 Ing. Electrónico
- 5 Ing. Electromecánico
- 6 Becaria estudiante Ing. Industrial
- 7 Estudiante Ing. Eléctrica - FCEyT - UNSE

situación, mediante la organización y la digitalización de la información existente, y la ponderación del potencial de los recursos humanos del municipio abocados a esta temática, así como sus necesidades de actualización y/o formación. Esta herramienta de planificación integral permite construir propuestas innovadoras sumando a la discusión a colegios profesionales, ONG, representantes legislativos y universidades, y generando consensos conducentes hacia un sistema de alumbrado público moderno, eficiente, con explotación sostenible; y planificado dentro de un proyecto de ciudad a mediano y largo plazo.

Como iniciativa de investigación y transferencia esta es una oportunidad para que la universidad pública cumpla su rol de intermediación y vinculación entre Ciencia/Tecnología y Sociedad.

En la primera etapa hemos reunido antecedentes de problemáticas análogas, se han cimentado las bases para trabajar sobre la información existente, y se han analizado los métodos de mantenimiento utilizados, además de enfocar la atención en la capacitación de nuestro equipo. En el transcurso de este período se han publicado algunos documentos que muestran el trayecto recorrido hacia el cumplimiento de los objetivos. Se espera durante el año 2021 lograr materializar las metas relacionadas a los trabajos colaborativos entre personal y técnicos del municipio, y el equipo del proyecto de investigación.

Uno de los mayores desafíos abordados es superar el planteamiento de problemas a nivel del diagnóstico o de comprensión de sus causas, e identificar las soluciones y las acciones a aplicar.

Palabras clave: Plan estratégico, iluminación, eficiencia, sostenible

**Abstract**



The Project: "Energy efficiency in public lighting: evaluation, diagnosis, and proposal for the City of Santiago del Estero" addresses the need to reconvert the design, operation and maintenance of public lighting systems, which include road lighting, and ornamental of green spaces and buildings.

These actions will only become concrete through a strategic lighting plan that structures expansion and improvement decisions based on a precise diagnosis of the situation, organizing and digitizing the existing information, weighing the potential of the municipality's human resources committed to this issue, and your updating and / or training needs. This comprehensive planning tool allows the construction of innovative proposals by adding to the discussion the professional associations, NGOs, legislative representatives, universities, and looking for consensus towards a modern, efficient public lighting system, with a sustainable planned exploitation within a medium and long term city project.

As a research and transfer initiative, it is an opportunity for the public university to fulfill its role of intermediation and link between Science / Technology and Society.

In the first stage we have gathered prior information of similar problems, laid the foundations to work on the existing data, analyzing the maintenance methods used, in addition to focusing attention on the training of our team. Meanwhile of this period, some documents have been released that show the path taken towards the fulfillment of the objectives. It is expected during the year 2021, to achieve the goals related to collaborative work between staff and technicians of the municipality, and the research project team. One of the greatest challenges addressed is overcoming the approach to problems at the level of diagnosis or understanding of their causes, and identifying solutions and actions to be applied.

Keywords: Strategic plan, lighting, efficiency, sustainable

## **Introducción: El contexto del proyecto en la misión de la universidad pública**

Este proyecto elaborado y aprobado dentro del sistema de investigación de ciencia y técnica de la UNSE, para alcanzar los objetivos planteados, debe necesariamente forjar y fortalecer la vinculación con el municipio y otros actores sociales, y construir juntos un espacio apropiado en el campo de las políticas públicas. Actualmente, está siendo desarrollado en el marco de un convenio de colaboración existente entre la Municipalidad, y la Universidad. El objetivo general de este proyecto es contribuir a diseñar un plan estratégico de alumbrado eficiente para la ciudad capital de Santiago del Estero, cuyos lineamientos generales puedan extrapolarse (con ciertas restricciones) a otros centros urbanos.

Como objetivos específicos es nuestra aspiración concienciar mediante la capacitación, y la divulgación masiva sobre la necesidad de disminuir el consumo de energía eléctrica convencional proveniente en la República Argentina de una matriz eléctrica de generación en un 60% hidrocarburo-dependiente. Reducir los kilovatios-hora consumidos es equivalente a modificar esta matriz contaminante y favorecer la remisión de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera.

Otro objetivo específico perseguido es el de contribuir a la seguridad de las personas (automovilistas y peatones) al ofrecer escenarios públicos óptimamente iluminados, respetando las recomendaciones de las normas IRAM-ADDL, especialmente en lo relativo a uniformidad y distribución, -control de deslumbramiento y contaminación visual.

En una ciudad como la nuestra, con un clima e idiosincrasia que invitan a disfrutar de espacios abiertos durante la noche, es necesario favorecer la contemplación del paisaje construido y natural en los espacios verdes, sin que medie ese deslumbramiento fisiológico, y psicológico de luminarias incorrectamente ubicadas; o seleccionadas, que provocan la pérdida de parte

de la visión del panorama nocturno. Situación en la que resulta el brillo enegrecedor de las luces, el único protagonista.

Cuando se habla de diseño, explotación y mantenimiento sostenible, cada proceso involucra: la selección de luminarias y su disposición acordes al entorno, los sistemas de encendido y el mantenimiento predictivo y preventivo (no correctivo) que debe contemplarse cuando se planifica un nuevo proyecto. Un programa de explotación y mantenimiento adecuados se traduce en un considerable ahorro de recursos para los municipios pero para que esto sea eficaz, es preciso delinear el programa desde un comienzo.

Nuestro anhelo es lograr una simbiosis entre ciencia, universidad y territorio mediante la generación, la difusión y la aplicación de conocimiento científico mediado por el equipo de docentes-investigadores, becarios y estudiantes del proyecto, en forma conjunta con los técnicos y los funcionarios del municipio. El trabajo central es de transferencia recíproca de conocimientos, desde la experiencia teórica y analítica que poseemos por nuestra formación de grado, y posgrado, hasta la otra mirada que desde "la calle", comparten con nosotros los agentes municipales, quienes trabajan con recursos limitados, es personal (algunas veces) mal remunerado y con escasa capacitación específica, que enfrenta un vandalismo inexplicable hacia las luminarias, conductores y equipos, además de indiferencia vecinal otras veces. Todos estos son problemas invisibles para quienes estamos en la "academia" pensando desde nuestro ordenador, y empleando un software que solo da números, gráficas, y simulaciones, y brinda "un escenario virtual/ideal", que apenas se aproxima a la realidad dinámica, y desafiante. A esto se suma la ausencia del verdadero beneficiario del alumbrado público, que es el vecino de la ciudad, con sus hábitos y su idiosincrasia, y él debiera ser un protagonista de las políticas públicas (un decisor, un generador de demandas), en medio de este escenario sesgado por las urgencias, y las

elecciones que exigen nuevas obras públicas que legitimen los gobiernos, mientras los técnicos y los funcionarios municipales se esfuerzan para mantener las instalaciones existentes y prestar un buen servicio.

La relevancia de un plan estratégico de alumbrado público excede a una gestión de gobierno, y es fundamental para la toma de decisiones, es una demanda no explicitada, diferida, parece no importante, pero cuando se observen los resultados podrá apreciarse el valor de este relevamiento y diagnóstico que conduce a una planificación estratégica. En las ciudades de nuestra región NOA en general, las inversiones que el Estado licita y/o ejecuta en instalaciones de iluminación, no se realizan con base en una planificación estratégica, ni en un estudio que las vincule con los niveles de iluminancia recomendados por las normas IRAM-AADL, tampoco contemplan los estándares de confort visual relacionados con el deslumbramiento, u otros, como por ejemplo aquellos que tipifican las características cromáticas de una luminaria, como el índice de respuesta del color (IRC) y la temperatura de color correlacionado (K), o los indicadores de depreciación de flujo luminoso en función del tiempo. Todos estos, pueden ser determinados mediante ensayos realizados a las luminarias en laboratorios acreditados para certificar estos parámetros. Asimismo aún no se cuenta con los planos digitalizados para conocer geo-referencialmente cada punto luz, lo que con las nuevas tecnologías (como Smart Cities) permite detectar y controlar cada luminaria, y bajar la tasa de apagado, con la consecuente mejora de la calidad del servicio, y de la seguridad que se brinda a los vecinos. Naturalmente existen excepciones donde se trabaja con rigor científico, y estas decisiones acertadas están vinculadas a la presencia en esas municipalidades de técnicos universitarios y especialistas en iluminación graduados en su mayoría en la Universidad Nacional de Tucumán, un prestigioso centro nacional e internacional desde hace décadas en la temática.

En reivindicación de la tradición extensionista de la universidad, creemos que nuestro compromiso es difundir y promover la conciencia medioambiental al mayor número de personas, comenzando en nuestro proyecto por quienes pertenecen al área de Planeamiento Urbano, en la importancia de enmarcar cada emprendimiento bajo los lineamientos del desarrollo sostenible, y la eficiencia energética, y de tender un puente que tenga continuidad hasta que este proyecto finalice, que permita hacer un acompañamiento técnico, ya que se ha observado en relevamientos en distintos sectores donde se instaló la tecnología LED, que el reemplazo prácticamente no modificó el consumo de energía. Sí debe reconocerse que este reemplazo mejoró los niveles de iluminancia, y provocó un impacto visual positivo debido al cambio del color de luz, y a la composición espectral del LED que tiene mayor índice de reproducción de colores (IRC 0,8) que las anteriores luminarias que usaban fuentes de sodio alta presión (IRC 0,3).

Nuestro propósito es que la concepción de crecimiento/reconversión del alumbrado público esté basada en brindar un excelente servicio para todos los barrios de la ciudad, no focalizado en aquellos pertenecientes a "zonas espejos", entienda-se por ello a las avenidas principales, y a los sectores comerciales. Esta reconversión debe ser sostenible y debe incluir en su presupuesto el mantenimiento del conjunto de las instalaciones, apoyada en estudios de las demandas de cada zona, y en las necesidades explicitadas por los vecinos del sector. Esta metodología puede organizarse en un futuro próximo desde los CIC (Centros Integradores Comunitarios) convocando a representantes de las ONG, iglesias, y juntas vecinales, colegios profesionales, legisladores municipales, esto conformaría una especie de instancia de audiencia pública que enriquecería y refrendaría un plan estratégico delineado entre técnicos y especialistas del municipio y la universidad.

Los integrantes de este proyecto coincidimos en legitimar

el concepto de Álvaro García Linera (2018) acerca de las misiones de la Universidad, y del profesional que debe salir de la academia (universidad), que implica adentrarse en los problemas reales, cuando refiere: *“hay que irradiar un nuevo esquema espiritual que nos permita ordenar éticamente el mundo, usar todas las vías posibles, para desmontar el viejo orden ético, moral, somos luchadores de palabras y de símbolos”*. El desarrollo sostenible también es un imperativo ético, asumir que estamos de paso en el planeta, y que podemos usar los recursos naturales, sin menoscabar el derecho que tienen las próximas generaciones, es un deber que debemos estimular en los estudiantes, así como lo son desterrar el patriarcado, el neoliberalismo salvaje, trabajar por la diversidad, y la emancipación y unidad latinoamericana, no es casual que desde las potencias imperialistas, es desde donde hay más resistencia para comprometerse con la política ambiental inclusiva y respetuosa de la biodiversidad.

Cuando se habla de planificación sostenible, de contribuir al único desarrollo posible, los especialistas afirman que la humanidad debe embarcarse en una nueva vía, que cualquier intento deliberado por alcanzar un estado de equilibrio racional y duradero a través de la planificación, más que a través del azar o la catástrofe, debe hallar su fundamento último en un cambio básico de valores y objetivos a nivel individual, nacional y mundial.

Cuando Judith Sutz (2014) reflexiona sobre el para qué de la -¿relevancia de la investigación? como primer atributo menciona el desarrollo económico, y en segundo término indica “generar evidencia sobre la cual puede hacerse una política pública”, este es nuestro anhelo, que en base a los resultados de la primera etapa se reconozca “la condición de éxito de las políticas que radica en que estas se basen en la utilización del mejor conocimiento actual disponible, brindado por el asesoramiento de expertos o consejos consultivos” (Estéba-

nez 2007), y además continuando con las reflexiones de Estébanez, buscamos con nuestro proyecto contribuir al debate público, y aportar para la transformación de la naturaleza de las discusiones (al contrarrestar el «pensamiento mágico» y el sentido común); a fin de lograr acuerdos/consensos sobre diagnósticos y estrategias preferibles, a través de discusiones y negociaciones entre los actores de modo que se pueda «ayudar al gobierno a pensar» (Weiss, 1992).

Una de las misiones de la universidad pública es brindar apoyo científico y tecnológico consistente, que permita que las políticas públicas sean más eficientes y eficaces. Asimismo *“con una vinculación más próxima a actividades de interés público, el sector científico se fortalece obteniendo reconocimiento, legitimidad y recursos”* (Schwartzman, 2002).

Otro aporte de la vinculación que estamos planteando es específicamente instrumental, y consiste en el uso de información científica, por ejemplo en el pliego de especificaciones técnicas que incluya ensayos de fotometrías de las luminarias a instalar realizados en laboratorios acreditados oficialmente y en la definición de contenidos de procesos de licitación. *“En último término, el discurso científico aparece como fuente de apoyo de la gestión pública”* consideradas por Weiss (1992) y por Estébanez (2007) funciones legitimadoras.

La interacción con la realidad nos permite salir de ese diagnóstico sistematizado, y enfrentarnos con cuestiones definidas y habituales que están atadas a los problemas y obstáculos que un proyecto debe sortear.

Algunos autores refieren al divorcio/desencuentro entre la universidad y las entidades gubernamentales, señalan que hay desconfianza mutua, y que desde los gobiernos se considera que las entidades académicas tienen una mirada “inocente/ingenua” de la realidad, asimismo, indican que no hay confianza suficiente en la consistencia y consecución de sus planteamientos, ya que hay una memoria de vínculos interrumpidos, y

de muchos convenios de cooperación con letra muerta.

El desafío es recrear y fortalecer estos vínculos, para cumplir acabadamente nuestra misión: formar hombres y mujeres comprometidos con su territorio/región, y competentes en la resolución de problemas reales.

Por último, y dado que los miembros del equipo del proyecto pertenecen a las carreras de Ingeniería Eléctrica, Electrónica, Electromecánica, Civil e Industrial, y Arquitectura, profesiones cuya base científica se ve modificada por las nuevas tecnologías en forma constante y dinámica, es fundamental generar en las aulas un ambiente creativo donde los profesores sumen a sus estudiantes a los procesos de creación de conocimientos, y mediante esa interacción: *“transmitirles las aptitudes necesarias para desempeñarse en profesiones que estarán en permanente evolución”*, ideas expresadas por Carlos Abeledo, y Arturo López Dávalos (2008).

Para cerrar referimos al concepto de investigación-acción, al que adherimos, que Boaventura de Souza Santos (2007) sintetiza en la definición y ejecución participativa de proyectos de investigación involucrando a las comunidades y a las organizaciones sociales populares. La investigación estratégica significa que la universidad innovadora debe pasar a comprometerse a resolver problemas concretos, a desarrollar tecnologías fundamentales; y a promover la generación y transferencia de nuevos conocimientos y soluciones tecnológicas, desde las anteriores perspectivas. El eje de la calidad del proceso educativo, entonces, se ubica en la utilidad social de los conocimientos producidos y distribuidos por la institución universitaria (García Guadilla, 2006).

En Argentina, recién en los últimos años, las actividades de vinculación social son consideradas, y ponderadas en la evaluación periódica de los académicos. Esta modificación en la evaluación de desempeño docente universitario se debió a la lucha que estos emprendieron por el reconocimiento del sen-



tido público y cultural de sus proyectos.

Los agentes no académicos y sus problemas, intereses y demandas, constituyen el contexto de aplicación y, a su vez, pueden ser partícipes de prácticas de coproducción de conocimiento científico.

### **Avanzando hacia el Plan Estratégico de Iluminación**

El éxito de un proyecto de este tipo excede la duración de un período de gobierno municipal, o de un proyecto de investigación, independientemente de la voluntad, y/o de la actitud cooperativa generada entre municipio y Universidad. No obstante, se trata de romper ese esquema de décadas, en el cual las iniciativas estaban atadas a la periodicidad. Asumir y comprender un Estado que trasciende a los gobiernos es parte del desafío: las metodologías aplicadas deben ser transversales y retroalimentarse a lo largo de los años y más cuando han surgido mediante la discusión, el análisis, el estudio, y finalmente el arribo a un resultado consensuado. Un PEI constituye una herramienta que justifica la toma de decisiones basada en un proceso dinámico en el que convergen diversos actores.

A efectos de ordenar la comprensión de las acciones emprendidas dentro del proyecto hasta la fecha, hemos abordado como ejes primordiales los siguientes planteamientos:

I. La relevancia de la eficiencia energética y una nueva forma de iluminar ciudades.

II. Las barreras que dificultan la adopción de planes estratégicos de iluminación.

III. Nuestro rol como profesionales y formadores para favorecer el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la agenda 2030.

IV. Estudio y aplicación del documento: "Lineamientos para la mejora de la enseñanza sobre eficiencia energética en

carreras estratégicas de ingeniería y arquitectura”.

V. Análisis de la matriz eléctrica que alimenta la red de alumbrado público en la República Argentina, y de las perspectivas de las energías renovables.

VI. Metodología de evaluación de eficiencia energética en alumbrado público LED en SDE.

### *Desarrollo de cada eje planteado*

I. La relevancia de la eficiencia energética y una nueva forma de iluminar ciudades

Este planteamiento cobra importancia a nivel nacional e internacional, cuando observamos la brecha entre el “salto tecnológico” sucedido los últimos 10 años en la fabricación de las luminarias LED, la incorporación de sistemas de automatización, y el empleo de software para el cálculo y diseño del alumbrado; y lo comparamos con los niveles de eficiencia registrados en instalaciones que aplicaron sin criterio o conocimiento experto esas “costosas” tecnologías. Los relevamientos y estudios que hemos venido documentando desde el año 2015 en que se instalaron las primeras luminarias LED en Santiago del Estero, en avenida Belgrano (Rigali et al, 2016), nos muestran que los ahorros obtenidos en ningún caso superaron el 25% (la tecnología LED se promueve con ahorros de energía de entre 35 a 50%) y en algunos ejemplos, el consumo se incrementó al sobredimensionar instalaciones con niveles que alcanzan una iluminancia promedio  $E = 54 \text{ lx}$  (Rigali et al 2018) cuando la iluminancia promedio recomendada para una vía de ese tipo de tránsito vehicular es 40 lx. Este desaprovechamiento y mal uso de las nuevas tecnologías se replica en diferentes ciudades del país, y debemos agregar siendo honestos, que resulta atractivo para la mayoría de la gente, aunque atente contra el derecho

a observar las estrellas. El LED está modificando el panorama nocturno que divisamos al sobrevolar una ciudad; para el ojo entrenado es preocupante apreciar un conjunto de nervaduras rectas brillantes color blanco frío (temperatura de color de 4500° Kelvin), cuando muchas de estas líneas irradian con la misma intensidad tratándose de vías de tránsito de diferentes niveles de importancia, y que debieran observarse a distintas intensidades. Esto, que para algunos puede ser evaluado como un éxito, se contrapone con la tendencia del Movimiento Red de Ciudades *Slowlight*, conformado por las 50 euro-ciudades más importantes, en las cuales se viene trabajando desde hace varios años en planes estratégicos y en sostenibilidad en iluminación. Las eurociudades han adoptado un cambio de enfoque en la manera de iluminar los espacios públicos, y de gestionar las redes de alumbrado: con iluminación calmada, y puesta en valor del trabajo bien hecho como argumento diferencial.

El "Manifiesto *Slowlight*" (que data de mayo de 2020) empieza a tomar fuerza en muchos lugares del mundo, y postula que se está migrando hacia el empleo de estas tecnologías para iluminar con selectividad, con niveles adecuados y sin emisión de luz en el hemisferio superior de las luminarias, minimizando los deslumbramientos, y encendiendo la iluminación ornamental solo en los horarios en que puede ser disfrutada y apreciada por los ciudadanos. Estas decisiones sumadas a la incorporación de sistemas inteligentes que reducen los niveles de la iluminación vial en horarios de menor circulación de vehículos, y por ende menor demanda de luz, posibilitan el verdadero aprovechamiento de las nuevas tecnologías.

## II. Las barreras que dificultan la adopción de Planes Estratégicos de Iluminación

Durante el año 2020 la mayor parte del cual debimos mantenernos en aislamiento preventivo por el Covid-19, los integrantes de este proyecto de investigación decidimos trabajar

remotamente diseñando y enviando una encuesta a diferentes municipios de la provincia de Santiago del Estero, con el objeto de indagar a responsables, funcionarios y técnicos sobre su conocimiento de las tecnologías LED, con interrogantes tales como: si estaba cuantificado su parque de luminarias según el tipo y potencia, y qué barreras y problemas observaban para la modernización del alumbrado público mediante la adopción de planes directores. La encuesta fue creada a partir de formularios de Google, y compartida a través de correo electrónico, y mediante enlaces con las páginas oficiales de los municipios, y la red social Facebook.

Aquí presentamos (Figura1) los primeros resultados que pueden apreciarse en la gráfica construida en Excel al procesar las respuestas. Debemos admitir que el número de respuestas (la muestra) no fue la esperada. Quizás la misma situación de desaliento que introdujo la pandemia hizo que algunos responsables y técnicos de municipios desdeñaran la posibilidad de opinar sobre esta temática, por lo cual este trabajo está en progreso, con la intención de repetir las encuestas en forma presencial.

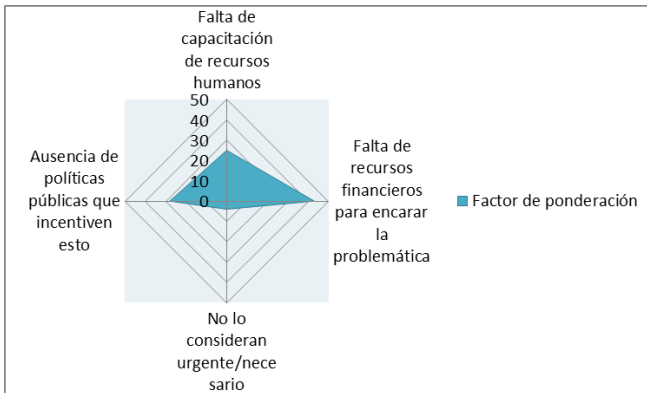


Figura 1: Resultados al procesar la encuesta.

Fuente: elaboración propia.

La tabla I describe el tipo de barrera antes mostrada en la gráfica, y expone la correspondencia respectiva.

Tipo de barrera	Compete a:
<p>Económica</p> <p>1° lugar entre las barreras reconocidas, se aduce la falta de recursos financieros para encarar un plan director.</p>	<p>Una mentalidad cortoplacista del medio, que contrasta con las características intrínsecas de estas estrategias que tienen beneficios a mediano y largo plazo.</p> <p>Falta de discusión y promoción a nivel general de metas ambientales con respecto al calentamiento global. Esto induce a los decisores a orientar los fondos hacia cuestiones con visibilidad inmediata.</p>
<p>Falta de capacitación de los recursos humanos</p> <p>2° lugar en importancia, según lo señalado en la encuesta.</p>	<p>La necesidad de capacitar los RRHH de la administración pública, es una premisa para todas las áreas, actualmente hay administraciones (poder judicial) que destina fondos para este, e incluso certifican estándares de calidad de servicio. Es esencial contar con ello para instituir un PEI, ya que son estos hombres y mujeres quienes administran los recursos, organizan las obras futuras, y promueven la conciencia ambiental a través del trabajo profesional.</p>
<p>Ausencia de políticas públicas que incentiven este tipo de proyectos.</p> <p>Considerado en 3° lugar según los resultados de la encuesta</p>	<p>El Estado nacional debería premiar las consecuencias que derivan de la adopción de PEI, por ejemplo eficiencia energética, crecimiento sostenible, reducción de tn de CO<sub>2</sub>eq. Además debería financiar la capacitación de RR.HH. mediante programas específicos.</p>

Tabla I: Análisis de las causas situaciones que se concatenan con estas barreras.

*Fuente elaboración propia*

Como conclusión podemos expresar la necesidad de un trabajo mancomunado entre los actores formados en la universi-

dad, y los distintos estamentos del Estado (municipal, provincial, y nacional), interactuando incluso en órbitas relacionadas a las asociaciones profesionales como la AADL (Asociación Argentina de Luminotecnia), desde donde pueden surgir iniciativas con justificación técnica que modifiquen el actual rol del Estado nacional en políticas de eficiencia energética en iluminación.

III. Nuestro rol como profesionales y formadores para favorecer el cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en la agenda 2030.

Desde nuestro proyecto buscamos contribuir directamente con el objetivo N°7: "Energía asequible y no contaminante", y el objetivo N°11: "Ciudades y comunidades sostenibles", e indirectamente coadyuvar a alcanzar las otras metas. Los objetivos son el corazón de la agenda 2030, y muestran una mirada integral, indivisible y una colaboración internacional renovada. En conjunto, construyen una visión del futuro que queremos. En la Figura 2, se presentan estos objetivos, tomados de una publicación de la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y El Caribe).



Figura 2: Los ODS en la Agenda 2030<sup>8</sup>

Estos objetivos, hablan de garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos (N° 7); lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles (N° 11); garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles (N° 12); adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (N°13).

En sus considerandos este documento de la CEPAL expresa:

“Estamos frente a un cambio de época: la opción de continuar con los mismos patrones ya no es viable, lo que hace necesario transformar el paradigma de desarrollo actual en uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo. La Agenda 2030 es una agenda transformadora, que pone la igualdad y dignidad de las personas en el centro y lla-

8 Fuente: <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>

ma a cambiar nuestro estilo de desarrollo, respetando el medio ambiente. Es un compromiso universal adquirido tanto por países desarrollados como en desarrollo, en el marco de una alianza mundial reforzada, que toma en cuenta los medios de implementación para realizar el cambio y la prevención de desastres por eventos naturales extremos, así como la mitigación y adaptación al cambio climático”<sup>9</sup>.

En el objetivo 7, la meta 7.3 refiere: “De aquí a 2030, duplicar la tasa mundial de mejora de la eficiencia energética”. Es un desafío que compromete a todos, pero hace especialmente responsables a los gobiernos que administran la iluminación pública, que es desde donde se puede hacer una gran diferencia.

En el objetivo 11, la meta 11.1, dice: “De aquí a 2030, asegurar el acceso de todas las personas a viviendas y servicios básicos adecuados, seguros y asequibles y mejorar los barrios marginales”. Debemos mencionar que el alumbrado público es un servicio básico, y donde más se lo necesita es en los barrios marginales, ya que los niveles de inseguridad han crecido en los últimos años en las ciudades de Argentina, incluyendo a Santiago del Estero.

En el objetivo 12, la meta 12.2, expresa: “De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales”. Una gestión y un uso eficiente del agua, y de la energía en todas sus variantes, implica cambiar el paradigma al que hemos estado habituados en la Argentina, donde por años ha sido subsidiada la energía en todas sus formas comercializables, con el consiguiente daño al ambiente, tratándose de recursos no renovables, y particularmente en referencia a la energía eléctrica generada desde fuentes convencionales.

9 <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>



En consonancia con esta visión del mundo que aspiramos construir, debemos destacar como un hito reciente, la sanción de la Ley Nacional N° 27.592, aprobada el 20 de noviembre de 2020, conocida como “Ley Yolanda”, en homenaje póstumo a Yolanda Ortiz, una luchadora en esta problemática, quien fuera la primera secretaria de Recursos Naturales y Ambiente Humano de Argentina en 1973. La norma promueve la formación integral en cuestiones ambientales y desarrollo sostenible de todas las personas que desempeñan una función pública en los tres poderes del Estado. Con esto, se instruirán en gestión de residuos sólidos urbanos; cambio climático; recursos naturales y biodiversidad; eficiencia energética; derecho ambiental; economía circular; e impacto ambiental de las políticas públicas, entre otros temas. Es un gran avance, y a la fecha, tres provincias han adherido a la misma: Buenos Aires, Tucumán y Chaco. Esperamos que su instrumentación sea un éxito y que quienes realicen las capacitaciones sean recursos humanos de todo el territorio nacional, no necesariamente de CABA, lugar desde donde siempre se conducen los programas nacionales.

#### IV. Estudio y aplicación del documento: “Lineamientos para la mejora de la enseñanza sobre eficiencia energética en carreras estratégicas de ingeniería y arquitectura”

Con respecto a nuestra responsabilidad en la comunidad universitaria, en el equipo partimos de la discusión del documento: “Lineamientos para la mejora de la enseñanza sobre eficiencia energética en carreras estratégicas de ingeniería y arquitectura” (2018), en el que se expresan algunas propuestas tales como utilizar y/o desarrollar tecnologías y equipos que permitan reducir el consumo de energía en general y en los procesos productivos de bienes y servicios en particular; diseñar e implementar procesos organizativos y productivos

que favorezcan el uso responsable y eficiente de la energía; y promover la conciencia de la importancia de pensar y gestionar la eficiencia energética en estrecha relación con el sector productivo regional en el cual se inserta la Universidad.

Desde nuestra experiencia como docentes-investigadores creemos necesario proveer a la sociedad de ingenieros sensibilizados y comprometidos con la temática de la eficiencia energética que hayan adquirido conocimientos y competencias necesarias (transversales, ético-profesionales, y técnico-profesionales) para las funciones siguientes: analizar críticamente la matriz energética nacional, comunicar y dar visibilidad a la problemática; trabajar en equipos interdisciplinarios, operar herramientas tales como software de simulación, visualizar el impacto ambiental, social, y económico de cada proyecto (comenzando por sus trabajos finales de graduación, o de tesis), evaluar la eficiencia energética en la obtención de procesos específicos, evaluar el beneficio técnico económico de la eficiencia energética de manera sostenible, analizar los procesos y el ciclo de vida de cada producto en el contexto de la demanda de energía, formar grupos (ONG, comisiones asesoras, etc.) que hagan foco en el ahorro de energía, y fundamentalmente poseer conocimiento sobre las leyes, normativas, regulaciones, tarifas, incentivos y penalidades asociados a la energía y al ambiente.

En este contexto es dable recomendar algunos temas prioritarios para proyectos de trabajo final de graduación o de tesis para estudiantes de grado de Ingenierías Eléctrica, Electromecánica y Electrónica; entre ellos pueden mencionarse los siguientes temas: "Redacción de Normas de Recomendaciones para Diseño y explotación de edificios públicos eficientes en lo respectivo a Iluminación, y climatización"; "Automatización del Alumbrado Público, variando el flujo luminoso según los horarios y el tipo de vía"; "Edificios inteligentes, con cero emisiones, incorporación a la Normativa Municipal" etc.

Asimismo, desde el punto de vista de la sostenibilidad se debe incentivar a los estudiantes a comunicar y dar visibilidad a la problemática. La rentabilidad de la "eficiencia" como la "fuente" de energía más benigna que existe para el medio ambiente ha quedado claramente demostrada. En esta línea, tenemos planificado en el retorno a la normalidad con presencia en las aulas, algunas acciones de sensibilización y provocación. Realizaremos una campaña con leyendas breves en las pizarras de las aulas (que naturalmente se borrarán al iniciar la clase), otra acción será solicitar a los docentes de diferentes asignaturas que la primera imagen que los estudiantes vean en sus presentaciones digitales (Power Point, Prezi, etc) hagan hincapié en que la eficiencia energética es esencial para mantener vivo el único planeta que tenemos, nosotros compartiremos entre los colegas estas filminas, cuya presentación solo les insumirá de 5 a 10 minutos de su tiempo de clase teniendo en cuenta que eso producirá un intercambio y participación de los estudiantes. Está previsto además la identificación de grupos y espacios de sociabilidad: bar de la UNSE sede central, polideportivo universitario, sedes de los gremios ADUNSE y APUNSE, escuela primaria (AMEUNSE) y jardín de infantes Shishilo, escuela de Agricultura, Ganadería y Granja, todos ellos constituyen dependencias de la universidad en las que se pueden generar talleres desestructurados para dinamizar la discusión en torno a esta temática.

Más adelante en otra fase, estas propuestas podrán llevarse a conformar mesas de negociación político- técnico- ciudadanas e invitar a representantes de la comunidad (concejales, ONG, funcionarios, etc.) para fortalecer las decisiones.

Otras acciones que emprenderemos es en referencia a que el aprendizaje se desarrolle al dar visibilidad a la problemática resolviendo situaciones reales, una forma directa sería la integración de los alumnos a equipos de investigación, no solo de los becarios rentados o los estudiantes avanzados, sería

un incentivo que esta incorporación cuente como parte de las prácticas de formación profesional que se les exige a los estudiantes para acreditar la carrera. Otra iniciativa es generar proyectos de auditorías internas de nuestros edificios.

### V. Análisis de la matriz eléctrica que alimenta la red de alumbrado público en la República Argentina y perspectivas de las energías renovables

Comenzaremos el análisis haciendo foco sobre la situación en las ciudades de la República Argentina, en las cuales la energía eléctrica proviene de la red interconectada SAI (Sistema Argentino Interconectado), y en la que la mayor parte es aportada por centrales térmicas. Esto varía según el año y la estación, ya que un buen año como lo fue el 2018 aportó una gran cantidad de energía hidroeléctrica, y la composición de energía proveniente de centrales térmicas estuvo en un 55% (Figura 3). Además un cambio en la política energética nacional en marcha desde 2016 permitió que se deje de abastecer las centrales térmicas con fuel-oil, y se pase a utilizar gas natural, que es algo menos contaminante. La Figura 4 muestra esta particularidad.

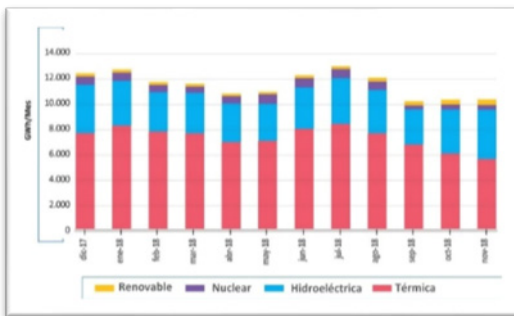


Figura 3: Generación eléctrica por fuente, año 2018.

Información: SAESA

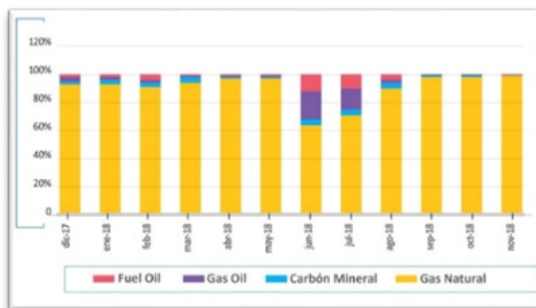


Figura 4: Generación eléctrica-térmica por fuente, año 2018.  
Información: SAESA

Aunque parezca que hay mejoras, si se compara con el año 2016, en el que la matriz eléctrica era aproximadamente de un 65% hidrocarburo dependiente, y las centrales térmicas estaban alimentadas gran parte del año con fuel-oíl, por escasez de gas natural, se está muy lejos de las metas planteadas en el "Régimen de Fomento Nacional para el Uso de Fuentes Renovables de Energía Destinada a la Producción de Energía Eléctrica", ley promulgada con el número 27.191/15, y reglamentada según el decreto N°531/16 de Energías Renovables, la cual manda que cada sujeto está obligado a alcanzar la incorporación mínima del ocho por ciento (8%) del total del consumo propio de energía eléctrica, con energía proveniente de las fuentes renovables, al 31 de diciembre de 2017, e ir incrementando esta hasta el 31 de diciembre de 2025, donde deberán alcanzar como mínimo el veinte por ciento (20%) del total del consumo propio de energía eléctrica.

Estas metas no se cumplieron en 2017, las nuevas energías renovables (solar, eólica y mini hidráulica) no llegaban al 4%, y en ese año la combustión de hidrocarburos aportó 69%, de la

energía eléctrica. Hasta tanto la matriz se diversifique, la eficiencia energética constituye la mejor y más limpia herramienta para disminuir los gases de efecto invernadero. Debido a que ahorrando energía eléctrica, se evita emitir toneladas de dióxido de carbono a la atmósfera, es necesario e imperativo diseñar sistemas eficientes, utilizando luminarias de calidad, explotando y manteniendo las instalaciones y aplicando programas enmarcados en un contexto de planeamiento sostenible, según lo expresado por Manzano (2017).

#### V. Metodología de evaluación de eficiencia energética en alumbrado público LED en SDE

Al decir de Manzano (2017), "La incorporación de iluminación LED en las ciudades viene a modificar no solo el aspecto de las mismas, sino además las posibilidades de reconvertir con eficiencia las instalaciones existentes".

Desde lo que era la Secretaría de Eficiencia en Iluminación, se lanzó en el año 2017 el Plan de Alumbrado Eficiente (PLAE) que impactó a algunas ciudades, y permitió la modernización de vastos sectores, aunque han sido observados algunos resultados que muestran que pudo haberse optimizado su aplicación. Esto está de acuerdo con lo descrito por Rigali *et al* (2018).

La ciudad de Santiago del Estero, no fue incorporada al PLAE, pero el gobierno municipal emprendió desde el año 2015 un programa de sustitución de luminarias desplegado sin pausa durante estos 6 años en las principales avenidas, en plazas y espacios verdes, y en el casco céntrico. Los beneficios obtenidos pueden apreciarse recorriendo la ciudad: vemos arterias resplandecientes, vecinos satisfechos (quienes circulan o residen en esas zonas), niveles de iluminancia que superan los mínimos requeridos, etc. Todo redundando en un

balance positivo, aunque si analizamos el consumo de energía eléctrica, se advierte que los resultados no son estrictamente los buscados desde el punto de vista del ahorro energético. Contamos con una tecnología portentosa, y no estamos hablando solo de la eficiencia y vida útil de las luminarias LED, nos referimos a la posibilidad de diseñar, y evaluar el comportamiento de las instalaciones empleando software de cálculo, y utilizando las fotometrías de las luminarias a instalar, para conocer con mayor precisión cómo va a comportarse una luminaria en determinada geometría de la instalación, asumiendo las particularidades de cada sector de una ciudad, tales como la presencia de árboles, los edificios de altura, las diferentes dimensiones y los tipos de calzada, y naturalmente aplicando el nivel adecuado según el tipo de vías de tránsito de acuerdo a la norma IRAM AADL J2022-2, Clasificación de Vías de Tránsito.

Poniendo como ejemplo el sector de la ciudad donde se han sustituido a partir del año 2015, todos los artefactos con lámparas de descarga de Sodio Alta Presión (SAP) por luminarias LED, utilizando la instalación existente, se puede observar que se hizo el montaje de las nuevas luminarias sobre columnas con altura y brazo definidos, y con un espaciamiento en determinada geometría (esta configuración obedecía a los requerimientos de las luminarias de descarga SAP), y esta decisión en algunos casos no favoreció el aprovechamiento de la nueva tecnología. Aquí cabe detenerse a analizar la diferencia de curva de distribución fotométrica de un artefacto con lámpara SAP, y una luminaria LED, que difieren notablemente aunque comparemos potencias y rendimientos similares.

Para cuantificar los resultados se analizaron los niveles medidos de iluminancia ( $E$ ), y los calculados de uniformidad ( $g_1$ , y  $g_2$ ), y se compararon con los valores recomendados por la norma IRAM AADL J-2022-2.

La metodología diseñada estableció en una primera etapa

realizar la labor de campo que consistió en el relevamiento de las instalaciones, y el registro fotográfico diurno y nocturno, la medición de los niveles de iluminancia media ( $E_m$ ), para esto último se empleó un luxómetro marca: Lutron, modelo LM.8000, con certificado de calibración del Laboratorio de Luminotecnia de la UNT, con fecha: 22/05/2018. La construcción de la grilla en cada arteria considerada, tomó como base la norma IRAM-AADL J 2022-2 para realizar el cálculo de la iluminancia media mantenida ( $E_m$ ). Y con estos registros se establecieron los valores de uniformidad,  $g_1$  ( $E_{mín} / E_{med}$ ) y  $g_2$  ( $E_{mín} / E_{máx}$ ).

En el barrio analizado, el alumbrado público se brinda mediante diferentes configuraciones geométricas, aunque en todos los casos la separación de columnas es 25 [m]. En las avenidas de doble carril las luminarias están dispuestas en forma bilateral no enfrentadas (al tres bolillo), y en arterias de una calzada, se hallan dispuestas de forma unilateral a la derecha, resulta suficiente teniendo en cuenta la simetría de la instalación, realizar la lectura de iluminancia ( $E$ ), sobre una rejilla con una densidad de 15 puntos.

Con todo el material recolectado, se procedió a elaborar tablas y gráficos donde se comparan los valores medidos versus los recomendados por la norma IRAM-AADL J 2022-2, que especifica valores medios mínimos de iluminancia, y uniformidad, para cada tipo de vía de tránsito, teniendo en cuenta su uso (vía principal, comercial, residencial), velocidad de circulación, presencia o no de peatones, entre otros factores que cambian las necesidades de iluminación, uniformidad, e incluso el tipo de luminarias empleada (apantallada, semi-apantallada, no apantallada).

La cuantificación de la energía que puede ahorrarse sin menoscabar la calidad del servicio no es una ecuación lineal. La forma correcta de realizarlo es haciendo mediciones de las vías de tránsito, y con la fotometría de cada tipo de luminaria



empleada, obtenida de ensayos en un laboratorio certificado (IRAM-AADL J 2021; Luminarias para vía pública Requisitos y Ensayos), realizar cálculos con software, variando aquellos parámetros que modifican la distribución de la luz, distancia entre columnas, altura del punto lumínico, longitud del pescante, presencia o no de árboles, tipos de pavimento, etc.

En este trabajo es posible realizar una aproximación debido a que es notorio que se ha dado el mismo tratamiento a diferentes vías de tránsito, lo que implica que en vastos sectores se está sobredimensionando la instalación. Debido a ello un cálculo simple nos da una importante capacidad de remisión de energía eléctrica, sin desmedro de cumplir con los principales objetivos que la Comisión Internacional de Alumbrado (CIE) destaca para el alumbrado público: permitir a los conductores de automóviles, motos, bicicletas y otros tipos de vehículos actuar con seguridad, permitir que los peatones vean los peligros, puedan orientarse, reconozcan a otros peatones y tengan una sensación de seguridad y mejorar la apariencia nocturna del espacio urbano.

Para el cálculo de toneladas equivalentes de dióxido de carbono emitidas al ambiente, existen diferentes metodologías, siempre teniendo en cuenta que este valor variará de un país a otro, según la composición por fuentes de generación de su matriz eléctrica, e incluso de un año a otro, ya que se producen variaciones en los niveles de generación hidroeléctrica o aportación de las nuevas energías renovables (eólica, solar por ejemplo). Sin embargo existen herramientas que permiten ser empleadas en diferentes contextos.

En el trabajo sobre el barrio centro de la ciudad de Santiago del Estero (Rigali et al, 2018), se aplica la herramienta desarrollada por Daniel Perzcyk, desde la Secretaria de Energía de la Nación, que resulta de fácil aplicación, pero el cálculo ha significado para el autor una enorme tarea de conjugar las variables de la matriz eléctrica argentina.

La Figura 5 muestra la tipificación de las vías de tránsito en el barrio Centro de la ciudad de Santiago del Estero, realizada en un trabajo publicado por Rigali y Raitelli (2008), que puede adoptarse debido a que no han surgido cambios sustanciales en el tipo de actividad de estas arterias.



Figura 5: Clasificación de Vías de Tránsito según el tipo de actividad, Norma IRAM AADL, Barrio Centro de SDE. Fuente: Rigali y Raitelli (2008)

Color asignado	Tipo de vía	Nivel E (Lux)
rosado	C (avenidas principales)	40
celeste	D (calles comerciales)	27
amarillo	E (avenidas de enlace o secundarias)	16
verde	F (calles residenciales)	10

Tabla II: identificación de las vías de tránsito según la norma IRAM-AADL 2022

La Tabla II brinda detalles sobre la caracterización de las vías y

los niveles de iluminancia media (inicial mantenida) recuérdese que el factor de depreciación es 0,8 al inicio de la instalación, lo que implica que estos valores representan Iluminancia media mantenida.

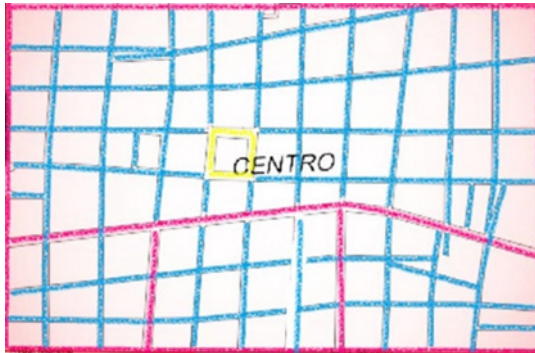


Figura 6: Registros de iluminancias promedios, celeste: 39,8; fucsia: 40,5 y amarillo 55 lx. Fuente: elaboración sobre registros propios.

Lo primero que sorprende en el relevamiento diurno al recorrer las instalaciones de las arterias del barrio Centro, es encontrar una misma geometría de instalación, altura, pescante y potencia de luminarias, en zonas donde los requerimientos de iluminancias son diferentes y acordes a la velocidad del tránsito, actividad, o presencia o no de peatones. Como por ejemplo, se puede mencionar los casos de la calle Salta, una de las destacadas en celeste en la Figura 6, plena zona comercial muy transitada hasta las 22,30 h en la estación estival de altas temperaturas; y de la calle Entre Ríos, zona residencial, en verde en la Figura 5. Esto es ratificado en las imágenes de las Figura 7, que fueron tomadas en horario comercial de un día laborable.



Figura 7: Calles: comercial (izquierda) y residencial (derecha) con idéntica luminaria y potencia. Fuente: imágenes del autor

En el estudio de las avenidas clasificadas como tipo C y E excluimos a la avenida Belgrano, principal eje o columna vertebral de la ciudad, que atraviesa el barrio mencionado, debido a que ha sido objeto de estudios previos por Rigali et al (2016).

Analizamos otra situación, a la avenida Moreno (vía de tránsito tipo C), una arteria con mucho tráfico de una sola vía (de norte a sur), con velocidad 40-50 km/h, se dio similar tratamiento que a la avenida Roca (tipo E) la cual es una vía con bastante tránsito vehicular, pero más lento, debido a la circulación de muchos peatones, por caracterizar a la zona la presencia de bares y restaurantes, y de modernos y costosos edificios de departamentos, distribuidos en todo su recorrido, lo que nos lleva a pensar en reconvertir su clasificación a arteria comercial tipo D (27 lx). El movimiento de peatones es muy importante, durante la noche. En la Figura 8 puede verse una imagen de la columna instalada en avenida Roca, y de las luminarias de vereda que se adosaron en las columnas en ambas avenidas.

Para las dos avenidas se instalaron a 7 m de altura Luminarias LED de 198 W, y luminarias LED para iluminación peatonal (de veredas) de 50W a 3,5 m de altura. En la Figura 8 se muestra los artefactos de vereda. Se pudo apreciar en el relevamiento nocturno que el artefacto (para iluminación peatonal) colocado en avenida Roca tiene mejor prestación, (el de la izquierda en la Figura 8) porque produce menos deslumbramiento debido a su tulipa de material difusor. En vereda se registran similares niveles de iluminancia.



Figura 8: Luminaria instalada en avenida Roca, y artefactos de vereda de Roca (arriba), y de Av. Moreno (abajo).

Fuente: imagen del autor

Otro problema observado es la asimetría de iluminación sobre veredas en las zonas residenciales, ya que por presencia de arboleda, del lado donde van instaladas las columnas, se generan sombras duras. Por la distribución fotométrica de la luminaria, en la vereda opuesta se miden niveles excelentes. En las zonas comerciales esto no constituye un problema, debido

al aporte desde escaparates y vidrieras que hacen los locales comerciales con su propia iluminación y letreros luminosos.

Por último, en los relevamientos diurnos y nocturnos pudo reconocerse zonas con altos niveles de iluminación, circundantes a la Plaza Libertad, que pueden justificarse dado el intenso flujo turístico y de residentes, que recibe el sector, donde se realizan fiestas religiosas y espectáculos nocturnos al aire libre en la celebración del cumpleaños de la ciudad durante el mes de julio, y en otras festividades del año. En la Figura 9 (derecha) se observa la calle peatonal frente a la Catedral, destacada con columnas separadas a 25 m, al tres bolillo y luminarias de 198 W que brindan un nivel de iluminancia medio de 55 lx. Obsérvese las sombras duras proyectadas por los canteros sobre la calzada.



Figura 11: vista de la calle frente a la catedral que fuera transformada en peatonal y vista nocturna de Plaza Libertad.

Fuente: imagen del autor

La plaza Libertad, es el epicentro de esta zona, donde convergen la Catedral, el Centro Cultural del Bicentenario (CCB) (era la antigua "Casa de Gobierno" o "Cabildo"), y la Municipalidad, allí se han observado algunos problemas de deslumbramiento, ocasionados por la existencia de luminarias con refractor

transparente, y por proyectores ubicados en ángulos inadecuados. Véase este problema en la Figura 9 (izquierda) en la cual, se dificulta distinguir a un perro que se desplaza sobre la vereda. Lo mismo sucede para identificar rostros de los transeúntes, lo que puede traducirse en inseguridad en altas horas de la noche, cuando disminuye el movimiento en la zona.

Como se infiere del análisis de las arterias coloreadas de la Figura 5, este tratamiento del alumbrado público que ofrece niveles similares de iluminancia en las calles, es producto de luminarias LED de 150 W, que han sustituido a los artefactos con lámparas SAP de 150 W (debe considerarse un adicional del 12% del consumo del equipo auxiliar), es decir un SAP 150W en realidad consume 168 W de instalaciones existentes, en otras palabras esto significa que hubo un ahorro de energía eléctrica, pero no tan importante como se esperaba. Además existen numerosos trabajos publicados que muestran las consecuencias de sustituir unas luminarias por otras, sin haber realizado simulaciones con software, para evaluar la conveniencia de la sustitución. Los artefactos han sido montados en columnas a distancias de 25 m, altura del punto lumínico 7 m, y pescante 0,90 m. Esta instalación da como resultado un valor de iluminancia promedio de 39,8 lx para calles de un único sentido de calzada, y de uniformidad  $g_1 = 0,67$  y  $g_2 = 0,41$ .

Fueron varias las empresas que trabajaron en esta obra, sin duda una decisión política plausible para no monopolizar la obra pública, y existen al menos, tres tipos de artefactos de la misma potencia pero de diferente fabricante, lo que implica discrepancias en la curva de distribución fotométrica, así por ejemplo, con el artefacto tipo A se registraron niveles más altos en las grillas, hasta  $E_m = 42$  lx, pero para el artefacto B, las mediciones daban valores de  $E_m = 37$  lx.

Aquí se presenta una cuestión no menor que es el diferente rendimiento de luminarias de la misma potencia, que está relacionado con la falta de especificaciones técnicas claras que

determinen fehacientemente la calidad de una luminaria.

Para las vías tipo C, y E, la iluminancia promedio es 40,5 lx, ténganse en cuenta que todas estas instalaciones han sido inauguradas en los últimos cuatro años.

En la Tabla III, se aprecia el tipo de potencia instalada por sector. Para las vías tipo C, van a aceptarse como óptimas ambas alternativas, con o sin luminarias de vereda.

Tipo de vía según la norma	Potencia instalada [W]	Potencia óptima [W]	Número de cuadras relevadas	Cantidad de luminarias
C c/luminaria para vereda	198 + 50	198 + 50	11	66
C	198	198	36	216
D	150	100	67	402
E c/luminaria para vereda	198 + 50	100 + 50	11	66
F	150	80	59	354

Tabla III: Descripción de luminarias instaladas, por potencia y por tipo de vía.

Para la zona comercial, vías tipo D, se ha computado 66 cuadras con niveles excesivos de  $E=39,8$  lx, cuando debieran tener por recomendación de la norma, 27 lx. Esto significa que existen 402 luminarias a la que podemos reducir la potencia, sin menoscabo de afectar la calidad del servicio, emplazando luminarias de LED de 100 W, en lugar de 150 W.

Tipo de vía de tránsito norma IRAM-AADL 2022	Número luminarias instaladas por sector	Potencia a reducir	Energía ahorrada 11 h, uso diario x 365 días al año
D	402	50 W	80,7 MWh



E	66	50 W	13,2 MWh
F	354	80 W	113,7 MWh
Total energía anual ahorrada			207,6 MWh

Tabla IV: Potencial anual de energía eléctrica de remisión por tipo de vía

En la Tabla IV, se muestra la potencial de energía que puede conmutarse en cada sector, sin desmedro de afectar la calidad de la iluminación.

Aplicando este reajuste, con los niveles reducidos se estaría garantizando que al término de la vida útil de las luminarias (según catálogo del fabricante), el 70% del flujo inicial sea a las 100.000 horas, 22 años a 11 horas de encendido diario, o una opción más realista 50.000 horas, 14 años, aún con esta opción estaríamos cerca de los 27,8 lx recomendados por norma, para las vías D, naturalmente estas extrapolaciones aún no tienen comprobación debido a que la tecnología LED que se está instalando hoy no es comparable a la comercializada hace 15 años.

La energía ahorrada anualmente, como puede leerse en la Tabla IV, sería de 207,6 [MWh]. La vida útil de las luminarias, en la más ambiciosa proyección sería 22 años. Para ese tiempo vamos a realizar el cálculo de las toneladas de CO<sub>2</sub>eq. La ecuación final (1) es de muy sencilla aplicación en el método de Percyk:

$$207,6\text{MWh} \times 22 \text{ años} \times 0,381 = 1740 \text{ toneladas eq de CO}_2$$

(1)

## Conclusiones

Algunos resultados de este trabajo muestran que se debe hacer un esfuerzo conjunto para un mejor aprovechamiento de las nuevas tecnologías LED, ya que al diseñar los sistemas de alumbrado público no se considera lo que dictan las normas IRAM-AADL, las que hoy deberían aplicarse asociando los valores mínimos recomendados a un uso racional de la energía. Se ha demostrado en esta investigación que luminarias de la misma potencia y aspecto similar (pero de distintos fabricantes) dispuestas en idénticas condiciones, dan resultados disímiles, debido a su curva de distribución luminosa. Ninguna empresa o municipio puede desconocer esto, ya que el uso indebido de artefactos de iluminación tiene consecuencias negativas en la búsqueda de la eficiencia tan mentada cada vez que se reconvierte un sistema de alumbrado.

En la evaluación presentada, sobre el barrio Centro de la ciudad de Santiago del Estero, se evidencia que sustituyendo luminarias por otras de menor potencia, se lograría una remisión de 1.740 tn CO<sub>2</sub> eq, y se mantendrían adecuados niveles de iluminación. Las toneladas equivalentes de dióxido de carbono, representan una medida universal de cálculo, que es utilizada para indicar la incidencia sobre el calentamiento global, y que ayuda a calcular los impactos de una actividad en términos de los gases de efecto invernadero asociados. Representa la huella de carbono que estamos dejando nuestro paso por el planeta.

Desde las universidades y asociaciones de profesionales del área de la luminotecnica bregamos por optimizar el empleo de las nuevas tecnologías, y estamos comprometidos en la protección del ambiente. Cada uno de nuestros proyectos debe buscar el mayor nivel de eficiencia. Cumplir con la agenda 2030 para el desarrollo sostenible es un imperativo.

## Bibliografía

- Abeledo Carlos, y López Dávalos Arturo (2008). "La investigación en la universidad: ¿por qué y para qué?". En Alejandro Pérez Bigot (Ed) *Extensión Universitaria y Vinculación Tecnológica en las Universidades Públicas*, (pp 9-48) Tucumán: CEUES, Universidad Nacional de Tucumán.
- Argentina, Ministerio de Energía, Subsecretaría de Eficiencia energética (18/07/2018) *Estrategia Nacional de Educación en Eficiencia Energética*, Resolución Conjunta 1 E/2017 Disposición 3/2018. <https://www.boletinoficial.gob.ar/detalleAviso/primera/188268/20180719>
- Argentina, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, noviembre de 2015, *Primer reporte bienal de actualización República Argentina a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático*. <https://unfccc.int/resource/docs/natc/argbur1.pdf>
- Argentina, Secretaria de Gobierno de Energía. Subsecretaria de Planeamiento Energético. Dirección Nacional de Información Energética (19 de septiembre de 2019) Perzick, Daniel, *Cálculo del Factor de Emisión de CO2 de la Red Argentina de Energía Eléctrica*. <http://www.energia.gob.ar/contenidos/verpagina.php?idpagina=2311>
- Argentina, Subsecretaría de Ahorro y Eficiencia Energética Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico Ministerio de Energía y Minería y Subsecretaria de Gestión y Coordinación de Políticas Universitarias Secretaria de Políticas Universitarias Ministerio de Educación de la Nación, *Lineamientos para la mejora de la enseñanza sobre eficiencia energética en carreras estratégicas de ingeniería y arquitectura*. <https://noticiasutnfrn.files.wordpress.com/2017/12/lineamientos-spu-final-noviembre-2017.pdf>
- Asociación Argentina de Luminotecnia (1995). Normas IRAM-AADL J 2022-2. *Alumbrado Público, Vías de Tránsito – Clasificación y niveles de iluminación*. Buenos Aires. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.

- Asociación Argentina de Luminotecnia (2015). Normas IRAM-AADL J 2021- *Luminarias para Vía Pública - Requisitos y Ensayos*. Buenos Aires. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
- Comisión Económica para América Latina y El Caribe (2012). Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.cepal.org/es/temas/agenda-2030-desarrollo-sostenible/objetivos-desarrollo-sostenible-ods>
- De Souza Santos, Boaventura (2007). *La universidad en el siglo XX. Para una reforma democrática y emancipatoria de la universidad*, Plural Editores, La Paz, Bolivia ISBN: 978-99954-1-078-0.
- Estébanez, María Elina (septiembre de 2016). *Ciencia, Universidad y Entorno: conceptos y reflexiones*. Ed. Federación Nacional de Docentes; Instituto de Estudios y Capacitación. Revista Política Universitaria.
- Estébanez, María Elina (2007), "Ciencia, tecnología y políticas sociales". *Ciencia, Docencia y Tecnología*, XVIII, 34, mayo, 2007, pp. 13-63.
- García Guadilla, Carmen (2006),. "Complejidades de la globalización y la comercialización de la educación superior. Reflexiones para el caso de América Latina", *Universidad e investigación científica* (pp. 135-168), Ed. CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. <http://bi-bliotecavirtual.clacso.org.ar/clacso/se/20100614120356/universidad.pdf>
- García Linera, Alvaro [TeleSUR tv] (13 de diciembre de 2012) *Los intelectuales tenemos que salir de la academia: García Linera*. <https://www.youtube.com/watch?v=Oagl4SN1TXA>
- Manifiesto Slowlight para una Iluminación Pública sostenible (2020). <https://www.slowlight.es/proyecto/manifiesto>
- Manzano Eduardo (2017) "Eficiencia y mantenimiento de luminarias LED en alumbrado público", *Revista Luminotecnia* (137), pp. 50-58.
- Rigali Silvina, Manzano Eduardo et al, (2018) "Hacia un Plan

- Estratégico Nacional que asegure la calidad en Alumbrado Público”, En Luxamérica 2018. *XIV Congreso Panamericano de Iluminación*, Córdoba, Argentina, 2018.
- Rigali Silvina, Ferreiro Alejandro, et al (2018), “Análisis de aplicación del Programa Alumbrado Eficiente en La Banda, Argentina”. En Luxamérica 2018. *XIV Congreso Panamericano de Iluminación*, Córdoba, Argentina, 2018.
- Rigali Silvina, Manzano Eduardo, et al, (2016). “Estimación de Indicadores de eficiencia y calidad de las instalaciones de alumbrado vial con tecnología tradicional y estado de sólido”. En Luxamerica 2016. *XIII Congreso Panamericano de Iluminación*, La Serena, Chile, 2016.
- Rigali Silvina, Raitelli Mario (2008); “Estimación del Deterioro de la Calidad y la Ineficiencia Energética por Depreciación del Alumbrado Urbano. Caso de la Ciudad de Santiago del Estero, Argentina”. En Luxamérica 2008. *IX Congreso Panamericano de Iluminación* Rosario.
- SAESA (6 de septiembre de 2018) *Fuentes de Generación Eléctrica Aportes de las Renovables*. <https://saenergia.com.ar/2018/09/06/fuentes-de-generacion-electrica-aporte-de-las-renovables/>
- Schwartzman, Simón (2002) “O financiamento de ensino superior no Brasil na década de 90” em Arrosa Soares, M. (coord.) *Educação Superior no Brasil* (Caracas: IESALC/UNESCO).
- Sutz, Judith (2014). “Calidad y relevancia en la investigación universitaria: apuntes para avanzar hacia su convergencia”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad* - CTS, 9, (27), pp. 63-83.
- Weiss, Eduardo (1992), *Investigaciones Educativas*. Ed. Bonilla.

## **Agradecimientos**

Los autores agradecen especialmente a la Dra. María José Benac (SCYT – FCEyT- UNSE) por su constante apoyo para la consecución de los objetivos del proyecto. Asimismo al Dr. Eduardo Manzano, y al Mg. Ing. Mario Raitelli del Instituto de Luminotecnia Luz y Visión de la FACET-UNT por todo el conocimiento compartido con generosidad.

## LA COMPUTACIÓN UBICUA EN EL DESARROLLO DE APLICACIONES EDUCATIVAS

ELENA BEATRIZ DURÁN<sup>1</sup>; MARGARITA MARÍA ÁLVAREZ<sup>2</sup>;  
BEATRIZ FERNÁNDEZ REUTER<sup>3</sup>; SILVINA ISABEL ÚNZAGA<sup>4</sup>

### Resumen

Los nuevos desarrollos de las Ciencias de la Computación/Informática se orientan hacia la computación ubicua, en la que los ordenadores están incluidos en nuestros movimientos naturales y en las interacciones con nuestro entorno, tanto físico como social. Este nuevo paradigma de la computación involucra la movilidad, es decir, la capacidad de mover los servicios informáticos con nosotros; y la pervasividad, esto es, la capacidad de obtener información del entorno en el que está inmersa una aplicación informática y utilizarla para construir diná-

1 Directora del Proyecto, Doctora en Ciencias de la Computación, III SI, FCEyT, UNSE.

2 Máster en Ingeniería del Software, Instituto de Investigaciones en Informática y Sistemas de Información (IIISI); Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT), UNSE.

3 Ingeniera en Computación, III SI, FCEyT, UNSE.

4 Máster en Ingeniería del Software, III SI, FCEyT, UNSE.

micamente modelos computacionales. En consecuencia, los principales desafíos en la computación ubicua se originan en la integración de la movilidad con la pervasividad en la búsqueda de que todo dispositivo computacional, mientras se mueve con nosotros, pueda ir construyendo de forma incremental modelos dinámicos de sus diversos entornos y configurar sus servicios en consecuencia.

Nuevos retos emergen en términos de cómo se deben diseñar y desarrollar las aplicaciones ubicuas. Esto requiere el replanteo de las arquitecturas de software, el diseño de ontologías y de modelos de dominio, nuevos escenarios de interacciones y el análisis de nuevas familias de requisitos no funcionales (como configurabilidad y la adaptabilidad).

El proyecto "Métodos y Técnicas para Desarrollos de Aplicaciones Ubicuas", de la convocatoria 2016 de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE, con período de ejecución 2017-2021, se propuso favorecer el desarrollo de conocimiento científico-tecnológico de relevancia sobre computación ubicua. La investigación estuvo orientada a analizar, proponer y aplicar técnicas, métodos y/o estrategias para conocer el contexto, razonar basándose en el mismo y adaptar los servicios de las aplicaciones ubicuas, particularmente en el campo educativo, con miras a mejorar el nivel de satisfacción del usuario y el desempeño de estas aplicaciones. En este capítulo se presentan las bases conceptuales que sustentaron la investigación y los principales resultados obtenidos durante el desarrollo del proyecto.

Palabras clave: Computación Ubicua, Personalización, Ontologías, Aprendizaje Ubicuo



## Abstract

The new developments in Computer Science/Informatics are oriented towards Ubiquitous Computing, which involves computers as part of our natural movements and interactions with our environment, both physical and social. This new paradigm of computing involves mobility; that is, the ability to move computer services with us; and pervasiveness, that is, the ability to obtain information from the environment in which a computer application is immersed and use it to build computer models dynamically. Consequently, the main challenges in Ubiquitous Computing originate in the integration of mobility with pervasiveness, in the search that every computational device, while moving with us, can gradually build dynamic models of its various environments and configure services accordingly.

New challenges emerge in terms of how ubiquitous applications should be designed and developed. This situation requires the replacement of possible software architectures, the design of ontologies and domain models, new interaction scenarios, and the analysis of new families of non-functional requirements (such as configurability and adaptability).

The project "Techniques and Methods of Ubiquitous Computing" from the 2016 call of the Secretariat of Science and Technology of the UNSE, with an execution period 2017-2021, was proposed to favor the development of relevant scientific-technological knowledge on Ubiquitous Computing. The research aimed to analyze, propose, and apply techniques, methods, and strategies to know the context, reason based on it, and adapt the services of the ubiquitous applications, particularly in the educational field, to improve the level of satisfaction user and performance of these applications. This chapter presents the conceptual bases that supported the research and the main results obtained during the project's development.

Keywords: Ubiquitous Computing, Personalization, Ontologies, Ubiquitous Learning

## Introducción

El término "computación ubicua" se atribuye a Weiser (1991), para quien las tecnologías más profundas son aquellas que desaparecen y quedan inmersas en la vida cotidiana, de forma tal que no se pueden distinguir de ella. En la computación ubicua se combinan tecnologías de información y comunicación utilizando un gran número de pequeñas computadoras embebidas, equipadas con sensores y actuadores que interactúan con el medio ambiente para intercambiar datos (Sakamura y Koshizuka, 2005). Su principal propósito es facilitar las tareas cotidianas, de modo que puedan realizarse de manera más rápida y efectiva.

Esta nueva forma de computación posee las siguientes características (Ding, Li, y Tingting, 2010):

- Invisible: interviene en nuestra vida diaria, pero es tan insignificante que las personas se olvidan de su gran impacto en lo cotidiano.

- Ubicua: permite la integración entre la computadora y el ambiente en el que se desenvuelven las personas por medio de dispositivos embebidos (tabletas, celulares, tarjetas y lectores de identificación por radiofrecuencia (RFID<sup>5</sup>), entre otros) de manera que permitan el acceso y comunicación en "cualquier lugar" y en "cualquier momento".

- Dinámica: por un lado, se encuentran los usuarios que están continuamente en movimiento dentro de un ambiente de computación ubicua; por el otro, los dispositivos que entran

5 Lassiglasen inglés RFID derivado de Radio Frequency Identification.

y salen de un ambiente de computación, lo que lleva a que la estructura de los sistemas cambie dinámicamente.

- Autoadaptativa: un sistema ubicuo es capaz de detectar y/o inferir las necesidades de sus usuarios y de proveerles, voluntariamente, los servicios de información requeridos.

Para que un sistema de computación ubicua sea capaz de asistir al usuario proactivamente, es necesario que posea la habilidad de sensar el contexto, razonar frente a cambios producidos en dicho contexto y reaccionar de manera acorde, de ser necesario (Ding et al., 2010).

El contexto en un sistema ubicuo se define como cualquier información que puede ser usada para caracterizar la situación de una entidad. Una entidad es una persona, lugar u objeto que es considerado relevante para la interacción entre el usuario y la aplicación, eventualmente incluyendo al usuario y a la aplicación misma (Dey, 2001). Dependiendo de la entidad y del tipo de soporte personalizado que se pretenda brindar, será necesario considerar diferentes aspectos (físicos, ambientales, personales, sociales, del sistema, de la aplicación, etc.) al modelar el contexto en una aplicación ubicua.

Dada su característica de sensibilidad al contexto, puede decirse que un sistema ubicuo realiza tres funciones principales (Loke, 2006):

- Sensar: los sensores proporcionan un medio de adquirir datos o información acerca del mundo físico o de algún aspecto de este (contexto).

- Pensar: los datos capturados se procesan y, en combinación con otra información que el sistema posea, se infiere nueva información acerca de la situación de las diferentes entidades que está utilizando el sistema.

- Actuar: una vez que el sistema ha caracterizado las situaciones de las diferentes entidades, es decir, ha comprendido su contexto, está en condiciones de ejecutar las acciones más

convenientes para el logro de sus objetivos.

Teniendo en cuenta la funcionalidad que debe presentar esta clase de sistemas, se puede observar que su diseño genera interrogantes que no se manifiestan en otro tipo de aplicaciones, como por ejemplo: ¿cómo modelar un contexto heterogéneo y dinámico de forma eficiente?, ¿cómo proporcionar adaptación contextual adecuada y oportuna a cada usuario particular?, ¿cómo integrar eficazmente los diferentes dispositivos que conforman el sistema?, ¿cómo identificar contenido relevante en repositorios digitales con miras a la adaptación, y cómo combinarlo con la información sensada por el sistema?. Es decir, el desarrollo de un sistema ubicuo requiere de la utilización de técnicas especializadas de adquisición y modelado del contexto, así como de razonamiento y adaptación.

Atendiendo a los cuestionamientos planteados anteriormente, desde el año 2012 venimos desarrollando, en el Instituto de Investigaciones y Sistemas de Información (IISI) de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT) de la UNSE, la línea de investigación sobre computación ubicua y, en particular, con orientación hacia los "Sistemas de Información de apoyo al aprendizaje ubicuo". Esta línea tiene como propósito abordar teórica y metodológicamente las contribuciones que se pueden realizar en el desarrollo de sistemas de información de apoyo al aprendizaje por medio de la aplicación de técnicas y métodos de computación ubicua, ontologías y técnicas de personalización.

Para alcanzar lo expuesto anteriormente, se plantearon los siguientes objetivos específicos:

1. Revisar y analizar las técnicas y los métodos existentes para el modelado y la construcción de aplicaciones ubicuas.
2. Construir y evaluar el modelo de contexto ubicuo.
3. Evaluar y proponer técnicas y métodos para el razona-

miento y la adaptación en aplicaciones ubicuas.

4. Aplicar las técnicas y métodos propuestos en la construcción de aplicaciones ubicuas de impacto local y regional.
5. Evaluar, en contextos reales, el nivel de satisfacción del usuario y el desempeño de las aplicaciones ubicuas construidas.

En este capítulo se presentan las bases conceptuales que sustentaron la investigación, en particular el aprendizaje ubicuo (AU) y la personalización de sistemas, y los principales resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto.

### **Bases conceptuales**

En esta sección se define y caracteriza al AU, se presentan los fundamentos teóricos y tecnológicos que lo sustentan y se marcan las principales diferencias con otros modelos de aprendizaje soportados por computadora. Se presentan, además, las bases conceptuales de la personalización por computadora y su aplicación en sistemas de e-learning, en particular, sistemas ubicuos aplicados a la educación.

#### *Aprendizaje ubicuo*

El AU representa un nuevo paradigma educativo que, en buena parte, es posible gracias a los nuevos medios digitales. En particular, es el resultado de la convergencia entre e-learning y la computación ubicua (Shih y Tseng, 2009).

En cuanto a la definición de AU, en Yahya y otros (2010) se realiza un interesante análisis de definiciones realizadas por distintos autores. De allí se rescata la definición aportada por Sakamura y Koshizuka (2005) quienes afirman:

[...] aprendemos cualquier cosa, en cualquier momento y en cualquier lugar, utilizando tecnologías e infraestructuras de informática ubicua" (p.120).

Sakamura y Koshizuka (2005) afirman también que uno de los objetivos últimos de la enseñanza es incrementar la calidad de la vida diaria. Se aprende en el ambiente cotidiano en aulas o libros de texto. Tradicionalmente, esto es difícil, porque no existían métodos para ello. Recientemente, el desarrollo de la tecnología de informática ubicua permite compartir información y comunicarnos sin esfuerzo, constante y continuamente a lo largo del día.

Yahya y otros (2010) afirman que los términos «aprendizaje en cualquier lugar y en cualquier momento» y «aprender con la tecnología de la computación ubicua» aumentan la confusión entre los investigadores. Por lo tanto, proponen la siguiente definición: "el aprendizaje ubicuo es un modelo de aprendizaje que tiene lugar en un entorno de computación ubicua que permite aprender lo correcto, en el lugar y tiempo correcto y de la manera correcta". En esta definición se evita el uso del término «cualquier cosa, en cualquier lugar y en cualquier momento». Esto es debido al desafío que implica en un mundo rico en información la presentación de lo correcto, en el momento adecuado y de la manera correcta, y no solo que la información esté disponible en cualquier momento. El objetivo principal de hacer esto es ayudar a los estudiantes a obtener la información exacta que están buscando en un determinado momento.

A pesar de que en los últimos tiempos el AU ha atraído la atención de los investigadores, el establecimiento de los criterios o características para el AU aún no están claros (ang, 2006). Sin embargo, diferentes investigadores tales como Chiu y otros (2008), Curtis y otros (2002), Hwang y otros (2008),

Ogata y Yano (2004) han enunciado las siguientes características que presenta el AU:

- Permanencia: los estudiantes nunca pierden su trabajo a menos que sean deliberadamente borrados. Además, todos los procesos de aprendizaje se registran continuamente todos los días.

- Accesibilidad: los alumnos tienen acceso a sus documentos, datos o vídeos desde cualquier lugar. Esta información se proporciona con base en sus peticiones.

- Inmediatez: dondequiera que los alumnos estén, pueden obtener toda la información inmediatamente. Así, los estudiantes pueden resolver problemas rápidamente. En caso contrario, el alumno puede grabar las preguntas y buscar la respuesta más tarde.

- Interactividad: los estudiantes interactúan de un modo inconsciente con ordenadores y dispositivos integrados; además, gracias a las múltiples herramientas de comunicación, interactúan con expertos, profesores, compañeros, etc.

- Actividades de aprendizaje situadas: el aprendizaje se integra en la vida diaria. Los problemas encontrados, así como el conocimiento requerido, se presentan en sus formas naturales y auténticas. Esto ayuda a los estudiantes a observar las características de las situaciones problemáticas que hacen que determinadas acciones sean pertinentes. El objetivo de las actividades situadas es reactivar la memoria, recordando el proceso de aprendizaje y la experiencia real vivida, lo que contribuye significativamente a reforzar nuevos conocimientos.

- Adaptabilidad: la enseñanza adaptativa se basa en la idea de adecuar los métodos de enseñanza a las características personales de los estudiantes; un método individualizado de enseñanza ayudará a aprender más rápido, de un modo mucho más eficaz y con un grado de comprensión elevado. La enseñanza adaptativa es muy ventajosa para alumnos con necesidades educativas especiales o modos de

conocimiento muy específicos.

A partir de las definiciones y características del AU, se puede concluir que este es un tipo especial de educación a distancia que se define como un entorno que es compatible con computadoras integradas e invisibles en la vida cotidiana. Por lo tanto, soportan un aprendizaje dinámico mediante la comunicación con los dispositivos integrados en el medio ambiente del estudiante. La comunicación entre los dispositivos y los sensores integrados en el entorno permite aprender a aprender, mientras que los estudiantes están en movimiento integrándose así a su ambiente de aprendizaje. Al ser situado en un entorno auténtico permite el acceso oportuno a la información. Se aplica principalmente al aprendizaje de conocimiento procedimental con información de contexto auténtico, por lo que es adecuado para realizar actividades que permiten el logro de habilidades y capacidades en la realización de experimentos complejos. Permiten una personalización no solo con base en el estilo de aprendizaje y los conocimientos previos del estudiante sino con los aspectos e información del contexto tales como la ubicación, el momento, los diferentes dispositivos, etc. Amplía las posibilidades de diseñar actividades educativas innovadoras que pueden ser llevadas a cabo dentro o fuera de un espacio físico, gracias a la posibilidad de sentir el contexto. Facilita el acceso y la colaboración ya que recibe retroalimentación instantánea y consejos. El AU es adecuado para la evaluación de las actividades de aprendizaje del mundo real. Las estrategias son especialmente el aprendizaje basado en proyectos, aprendizaje auténtico, andamiaje y aprendizaje cognitivo (Liu y Hwang, 2010).



### *Personalización*

Durante un proceso de aprendizaje clásico, un maestro observa y evalúa una habilidad de un alumno determinado y es capaz de adaptar el programa de aprendizaje y el ritmo de formación individualmente al alumno o al grupo de alumnos. Los sistemas de e-learning van en la misma dirección (Markowska-Kaczmar et al., 2010). Uno de los principales retos del e-learning es cómo ofrecer una experiencia de aprendizaje personalizada para cada alumno, intentando imitar el proceso de aprendizaje que se da entre alumno y profesor en un aula física. La personalización en el contexto de la informática se refiere a la capacidad de un sistema o aplicación para adaptarse a las necesidades de cada usuario.

Los nuevos sistemas de e-learning se construyen como adaptativos o personalizados. Son capaces de monitorear las actividades de sus usuarios, interpretarlas sobre la base de modelos específicos de dominio para inferir sobre los requisitos y preferencias de los usuarios y, finalmente, actúan sobre el conocimiento disponible y facilitan dinámicamente el proceso de aprendizaje. Debido a que el comportamiento del sistema se adapta a una persona, este tipo de adaptación también se llama personalización (Markowska-Kaczmar et al., 2010).

Para lograr el objetivo de la personalización en e-learning, se pueden utilizar técnicas del campo de los sistemas adaptativos, ajustadas a este dominio en particular. Un sistema adaptativo almacena y mantiene información sobre los objetivos, características y preferencias del usuario en un modelo de datos, es decir, el modelo de usuario. Esto le da al sistema la capacidad de adaptar su comportamiento de acuerdo con los valores contenidos en el modelo de usuario (Fröschl, 2005).

Según Carro Salas (2001), los sistemas adaptativos pueden clasificarse por área de aplicación en los siguientes tipos: sistemas de ayuda en línea, sistemas de información en línea,

sistemas de recuperación de datos basados en hipermedia, sistemas de información institucional y sistemas educativos adaptativos (SEA). A diferencia del software tradicional, los SEA tienen la capacidad de adaptarse a cada uno de los estudiantes que los utilizan. Esta capacidad permite que los SEA contribuyan al nuevo proceso de aprendizaje, favoreciendo un aprendizaje significativo y activo porque se basan en modelos centrados en el alumno (Durán et al., 2010). Por este motivo, han tenido una gran difusión en el campo de la educación asistida por ordenador.

El soporte personalizado es una función muy importante en el AU. Se refiere a permitir que el sistema se adapte a la situación, las necesidades y las características actuales de los estudiantes, teniendo en cuenta, por ejemplo, su nivel de conocimiento, estilos de aprendizaje, habilidades cognitivas, ubicación actual, motivación, intereses, idioma preferido, etc., para así generar una experiencia de aprendizaje más eficaz, conveniente y exitosa en los entornos de AU (Graf y Kinshuk, 2008).

## Resultados de la investigación

### *Arquitectura de una aplicación de aprendizaje ubicuo*

Para poder desarrollar aplicaciones de AU, se ha diseñado una arquitectura basada en modelos ontológicos (Durán et al., 2014). La misma facilita el manejo de la complejidad de este tipo de sistemas al ofrecer al estudiante distintos servicios personalizados de acuerdo con el estilo de aprendizaje, conocimientos previos, ubicación, tipo de dispositivo móvil que usa, etc.

La arquitectura propuesta abarca cuatro dimensiones (Figu-

ra 1): los modelos, las ontologías, los componentes de software y el mundo exterior.

*Dimensión de los modelos*

La dimensión de los modelos representa el contexto. En esta investigación se ha considerado la definición de contexto dada por Siadaty y otros (2008), en consecuencia, se ha dividido al modelo de contexto en las categorías siguientes: modelo de contexto de aprendizaje, modelo de contexto ubicuo y modelo de servicio (Álvarez et al., 2013).

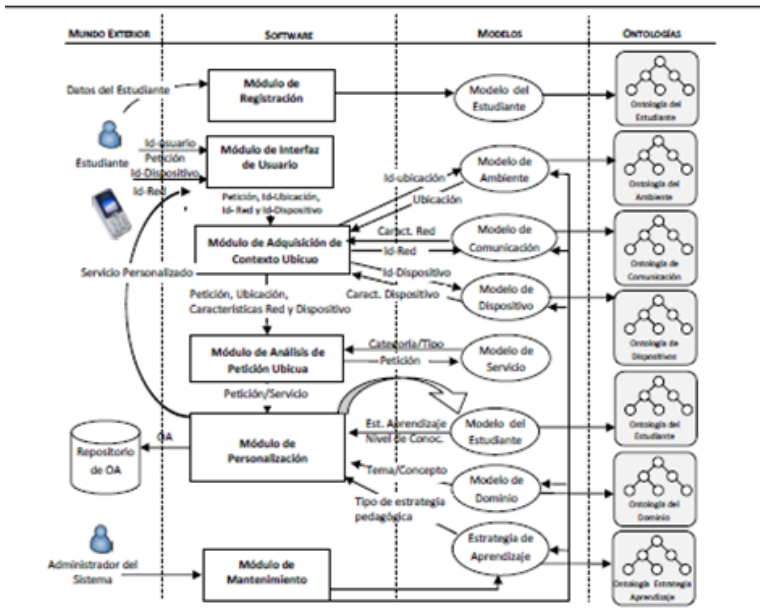


Figura 1. Arquitectura basada en modelos ontológicos para aplicación de AU (Durán et al., 2014).

Los distintos modelos pueden contener información contextual estática, que describe aspectos invariantes, y dinámica, que se refiere a observaciones que varían con el tiempo.

El **Modelo de Contexto de Aprendizaje** aglutina tres modelos:

**Modelo del Estudiante:** describe las características más relevantes del alumno con fines de personalización. Se actualiza permanentemente de acuerdo con los cambios que presenta el estudiante en su interacción con el sistema. Contiene información referida a los datos personales e incluye datos académicos tales como grado académico, estudios actuales, etc. A fin de poder personalizar las actividades de aprendizaje se incluyen datos del estilo de aprendizaje y nivel de conocimiento con respecto a los contenidos de aprendizaje del curso.

**Modelo de Dominio:** representa las piezas de conocimiento que serán transmitidas por el sistema: temas para los cuales se dispone de material de aprendizaje, tareas que tienen que ser realizadas por el estudiante, entre otras. El modelo de dominio contiene las clases que permiten la organización, representación y estructura de los objetos de aprendizaje (OA) sobre temas del dominio de la aplicación. Está constituido por un espacio de conocimiento (red de conceptos) y por un hiperespacio que contiene un conjunto de OA, ambos interconectados entre sí (Brusilovsky y Peylo, 2003). Atendiendo a la necesidad de estructurar el hiperespacio, se realizó el modelo conceptual del dominio (Álvarez et al., 2015). Para ello se consideró que el mismo está compuesto por los OA existentes en diferentes repositorios de la web.

**Modelo de la Estrategia de Aprendizaje:** describe las diferentes acciones que se pueden utilizar para posibilitar un aprendizaje mayormente significativo en el contexto de AU.

El **Modelo de Contexto Ubicuo** está formado por cuatro modelos:

**Modelo de Dispositivos:** describe los distintos tipos de dispositivos tales como sensores y teléfonos móviles que están

equipados con diferentes hardware y software, y que puedan ser usados por los estudiantes en un entorno de AU.

**Modelo de Comunicación:** describe los diferentes tipos de redes de comunicación entre el sistema de AU y el usuario.

**Modelo del Ambiente:** describe los diferentes ambientes (hogar, universidad, calle, etc.) en los que se puede concretar el AU y los puntos de interés (PI) que se encuentren en esos ambientes.

**Modelo del Contexto Social:** describe a las personas que de alguna manera pueden colaborar en el desarrollo de actividades con el estudiante.

El **Modelo de Servicio** describe las categorías y tipos de servicios que puede ofrecer una aplicación. La categoría representa la clase de servicio que se ofrece. El tipo representa a un grupo de servicios con características comunes dentro de una categoría.

### *Dimensión de las ontologías*

A partir de los modelos desarrollados en la dimensión anterior, y considerando que estos modelos son muy ricos en información y en relaciones entre los conceptos, se contempló el uso de ontologías para su implementación. Estas son un instrumento potente para especificar conceptos e interrelaciones en un dominio. Sus componentes son las clases, propiedades, relaciones y la información sobre su significado y limitaciones.

En Álvarez y otros (2012) y Durán y otros (2016) se definieron las clases de la ontología que representa conceptualmente los elementos del ambiente de AU con lo que se pretende apoyar a los estudiantes a través de servicios personalizados en una amplia gama de contextos de trabajo. En la Figura 2 se presentan las principales clases identificadas, a partir del modelo de contexto definido anteriormente; estas se presentan

a continuación:

**Alumno:** describe los datos personales, de preferencias, de conocimientos previos y estilo de aprendizaje de los estudiantes.

**Curso:** describe los datos identificatorios, las características de un curso y sus objetivos pedagógicos.

**Tema:** describe la segmentación de los contenidos educativos en partes más pequeñas.

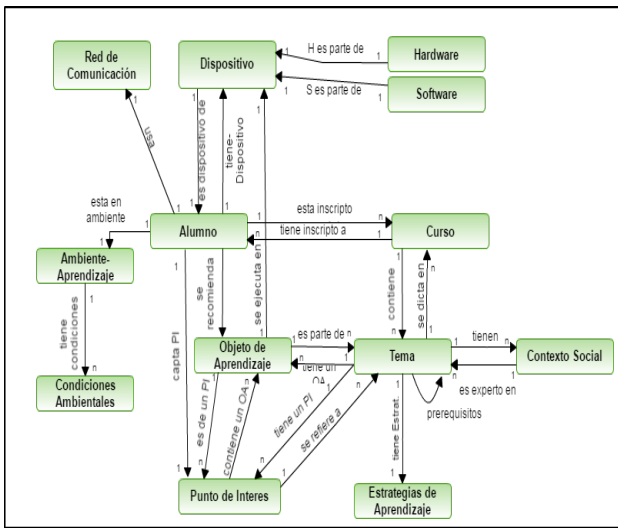


Figura 2. Modelo conceptual de la ontología (Durán et al., 2016).

**Objeto de Aprendizaje:** considerando que los cursos se conforman de OA, los que se toman de diferentes repositorios y contienen metadatos que facilitan su identificación y recuperación, se modela en esta clase los datos establecidos en el estándar IEEE-LOM<sup>6</sup>.

6 Las siglas en inglés derivan de Institute of Electrical and Elec-

**Estrategia de Aprendizaje:** describe el tipo de estrategia a utilizar (por ejemplo, de prueba y error, con preorientaciones, de composición completa, etc.), las herramientas a emplear, los tipos de actividades y de evaluaciones para cada estrategia.

**Dispositivo:** especifica el dispositivo que utiliza el estudiante para acceder a los cursos. La clase está relacionada con las clases Hardware y Software que describen las características de los dispositivos.

**Red de Comunicación:** describe las posibles redes de comunicación por las que se puede conectar el estudiante con el sistema.

**Contexto Social:** describe información sobre docentes, expertos y pares que pueden colaborar con el estudiante en la realización de una tarea pedagógica.

**Ambiente de Aprendizaje:** describe los diferentes escenarios en los que se puede concretar el aprendizaje.

**Puntos de Interés:** describe los objetos o lugares sobre los cuales el estudiante puede realizar un aprendizaje.

**Condiciones Ambientales:** describe las características del ambiente de aprendizaje que pueden ser captadas por los sensores del dispositivo del estudiante.

### *Dimensión de los componentes de software*

Los principales componentes de software de la arquitectura son:

**Módulo de Interfaz de Usuario:** se encarga de la comunicación con el estudiante, capturando su identificación, el curso a realizar y la petición de servicio de aprendizaje. Además, responde a los servicios solicitados por el estudiante.

Módulo de Adquisición de Contexto Ubicuo: captura las coordenadas de la posición del estudiante e infiere la ubicación (hogar, lugar de trabajo, establecimiento educativo, etc.). Captura la información de la red y el dispositivo que usa en ese momento. Además, captura la identificación del PI sensando el código QR asociado a él. Para la adquisición de contexto se pueden utilizar GPS, RFID y redes de sensores.

Módulo de Análisis de Petición de Usuario: determina el tipo de servicio que el estudiante solicita. El módulo interactúa con el Modelo de Servicio que define los servicios, por ejemplo: servicios de asistencia personalizada, asesoramiento en línea, recomendaciones personalizadas, etc.

Módulo de Personalización: se encarga de adaptar los servicios en función de las características personales y pedagógicas del estudiante y del contexto ubicuo, recomendando los OA que están almacenados en el repositorio.

Módulo de Mantenimiento de los Modelos: brinda soporte para que el administrador del sistema inicialice y actualice los modelos cuyos datos son altamente dinámicos, a fin de mantener e incorporar a la aplicación nuevas prestaciones, dispositivos, estrategias de aprendizaje, dominios, etc.

### *Dimensión del mundo exterior*

Esta dimensión refleja al medio ambiente del sistema (estudiante, administrador del sistema, dispositivos móviles con los que el estudiante se puede conectar al sistema y los recursos de datos externos a los que accede el sistema, tales como repositorios de OA) que se debe considerar en todas las dimensiones anteriores, ya que serán, en algunos casos, los actores y, en otros, se considera relevante la información que de ellos se debe tener.

### *Servicios ofrecidos por la aplicación de aprendizaje ubicuo*



A partir de la arquitectura basada en modelos ontológicos se han diseñado cinco servicios personalizados que se ofrecen a los estudiantes en contextos ubicuos. A continuación, se describe cada uno de ellos.

**Servicio 1: El estudiante requiere OA de un PI específico.**

El estudiante se posiciona frente a un PI sobre el cual quiere aprender; entonces, usando su dispositivo móvil, registra el código QR asociado a ese PI. La aplicación despliega en la pantalla del dispositivo la lista personalizada de OA para que el estudiante seleccione el de su interés.

**Servicio 2: El estudiante selecciona un objetivo de aprendizaje y la aplicación le ofrece un camino de aprendizaje personalizado.** En este servicio el estudiante ha iniciado la sesión en la aplicación y seleccionado un objetivo de aprendizaje. La aplicación identifica la ubicación del estudiante a partir de su dispositivo móvil y elabora un camino de aprendizaje con los PI que debe visitar el estudiante para cumplir con el objetivo seleccionado. Una vez que el estudiante se encuentra frente a un PI, deberá sensar el código QR correspondiente al mismo y la aplicación le devolverá los OA de acuerdo con su estilo de aprendizaje y las características del dispositivo móvil utilizado.

**Servicio 3: El estudiante obtiene una recomendación de PI cercanos de acuerdo con su ubicación actual.** El sistema detecta su ubicación y determina él o los PI más cercanos y que no han sido visitados aún por el estudiante. Una vez que el estudiante se encuentre en algún PI recomendado, la aplicación le sugiere los OA apropiados según su conocimiento previo y el tiempo que tiene disponible.

**Servicio 4: El estudiante solicita asesoramiento experto para cumplir con una tarea específica.** En este servicio, el estudiante solicita a la aplicación la posibilidad de realizar consultas a expertos. La aplicación busca a los que se encuentran en línea en ese momento o cerca de la ubicación del estudiante, y este escoge con quien comunicarse de acuerdo con las

listas que la aplicación le muestra.

**Servicio 5: El estudiante solicita la colaboración de pares para cumplir con una tarea específica.** Para este servicio, el estudiante solicita a la aplicación la posibilidad de contactarse con sus compañeros. La aplicación busca entre los estudiantes que se encuentren físicamente cerca aquel que mejor pueda apoyar el aprendizaje del alumno solicitante, en función del grado de avance en la tarea y el nivel de conocimiento.

A continuación, se presentan los desarrollos realizados para cada uno de los servicios mencionados.

#### *Desarrollo del Servicio 1: Consulta de OA de un punto de interés particular*

En Durán y otros (2015), se ha propuesto instanciar el modelo de servicios de la arquitectura presentada en Durán y otros (2014), es decir, particularizar las categorías y tipos de servicios para una aplicación determinada. En este caso, se realizó la instanciación de una aplicación de apoyo al AU para la materia Redes de Computadoras de una carrera universitaria en Informática. La aplicación apoya las actividades pedagógicas de los estudiantes, tanto en un laboratorio de Redes como también en actividades de campo.

En la instanciación del servicio 1 se prevé que cuando un estudiante se encuentra frente a un componente de red que le resulta desconocido, ya sea su nombre, características, función, proveedores, costos, etc., puede solicitar información al sistema registrando este componente a través de su dispositivo móvil. Dentro de esta categoría la aplicación ofrece los siguientes tipos de subservicios:

a. Asistencia personalizada en el reconocimiento de los componentes de una red dentro del laboratorio de redes (in-door). Para este servicio, la aplicación muestra presentaciones personalizadas sobre la información de los componentes de

una red en el ámbito del laboratorio de redes, en función del estilo de aprendizaje del estudiante, de su nivel de conocimiento y del tipo de dispositivo con el que accede a la aplicación.

b. Asistencia personalizada en el reconocimiento de los componentes de una red durante una experiencia de campo (outdoor). Para este servicio, la aplicación brinda presentaciones personalizadas sobre la información de los componentes de una red con la que el estudiante puede operar durante un trabajo de campo, fuera del ámbito de una clase en el laboratorio de redes. La información presentada se adapta, al igual que en el servicio anterior, al estilo de aprendizaje del estudiante, a su nivel de conocimiento y al tipo de dispositivo con el que accede a la aplicación.

De los subservicios descritos, se desarrolló el primero de ellos. La aplicación se desarrolló en dos partes: una que se instala y queda accesible en un servidor y la otra se instala y ejecuta en dispositivos móviles y accede a la aplicación disponible en el servidor. Internet es el medio de comunicación entre ambos (Figura 3).

El Módulo de análisis nivel conocimiento es el encargado de recuperar y actualizar el nivel de conocimiento de un estudiante, y el Módulo de análisis estilos de aprendizaje permite determinar, definir y actualizar el estilo de aprendizaje del estudiante.

La información del Modelo del Estudiante junto con la del Modelo de Dominio se envía al Módulo de adaptación, que aplica filtros y permite la personalización de la presentación. Finalmente, esta información es transmitida, a través de Internet, al mecanismo de comunicaciones y recibida por la interfaz de usuario de la aplicación que corre en el dispositivo móvil.

A continuación, se presentan algunas ilustraciones de una versión inicial del prototipo. En la Figura 4 se puede observar la interfaz principal de la aplicación en la que se solicita la registración del usuario.

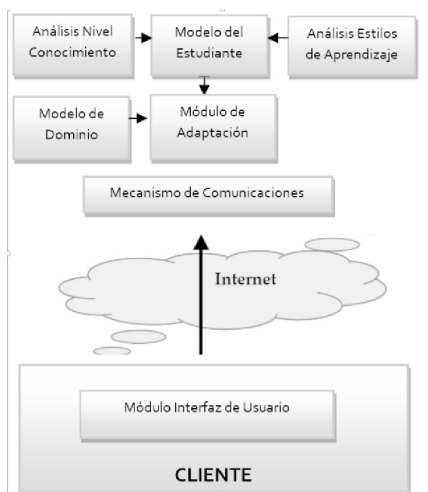


Figura 3. Arquitectura del Servicio 1 (Durán et al., 2015).

Una vez que el mismo está logueado y se encuentra en el laboratorio de redes, la aplicación espera por la lectura de un código QR (Figura 5). Una vez que se ha iniciado el escáner, se puede realizar la lectura de un código asociado a un componente de red que se encuentre en el laboratorio y que pueden ser objeto de estudio para el alumno. A continuación, la aplicación hace una solicitud al servidor y este envía información personalizada del componente reconocido (Figura 6).

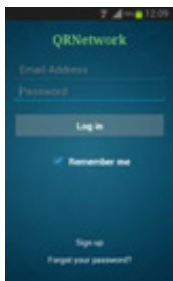


Figura 4. Interfaz de registraci3n



Figura 5. C3digo QR escaneado



Figura 6. Informaci3n personalizada

### *Desarrollo del Servicio 2: Generaci3n de caminos de aprendizaje personalizados*

En Fernández Reuter y otros (2018) se presenta un m3todo h3brido que utiliza la informaci3n del Modelo de Dominio, Modelo del Estudiante y Modelo Ambiental para generar los caminos de aprendizaje. A su vez, tiene en cuenta datos del contexto tales como: ubicaci3n actual del estudiante, tiempo disponible que tiene el estudiante para realizar la tarea, momento, es decir, d3a y horario en el que est3 llevando a cabo el aprendizaje.

Para generar los caminos de aprendizaje personalizados, este servicio se basa en un modelo estructurado en tres fases, como se puede ver en la Figura 7:

- Fase de personalizaci3n: selecciona, utilizando ontolog3as y reglas, las actividades y recursos que se adaptan a las caracter3sticas del estudiante, a partir de los datos obtenidos del modelo del estudiante y del modelo de dominio.
- Fase de planificaci3n: utilizando t3cnicas de planning, genera caminos de aprendizaje sobre un tema determinado tomando como entrada las actividades o recursos seleccionados

en la fase de personalización, los datos del contexto actual y los del modelo ambiental.

- Fase de monitorización: determina la necesidad de una replanificación de los caminos generados en función de los cambios de contexto. Utilizando agentes inteligentes, y tomando como entrada los cambios ocurridos en el contexto actual del estudiante, se evalúa el impacto que tienen, sobre los caminos generados. En caso de detectar que se requiere una replanificación de los caminos, se define la nueva situación actual del estudiante y se vuelve a la fase de planificación.

Tal como se puede ver en la Figura 7, un estudiante expresa su deseo de aprender un tema determinado en una cierta cantidad de horas. Con esta información se ingresa en la fase de personalización, donde se determinan, a partir del Modelo de Dominio y del Modelo de Estudiante, todas aquellas actividades y recursos que pertenecen al tema en cuestión y que se adaptan a los intereses y preferencias de dicho estudiante.

En la fase de planificación, el dominio de planificación está conformado por una tupla de la forma  $D = (S, A, s_0, C, R, f, G)$ , donde:

- $S$  es el conjunto de estados. Se conforma con todos los hechos que se generan ubicando físicamente cada actividad y recurso obtenido en la fase de personalización, a partir del Modelo Ambiental;

- $A$  es el conjunto de acciones. Se generará en función de las actividades definidas en la fase anterior junto a las precondiciones necesarias para su ejecución y los efectos producidos por cada acción;

- $s_0$  es el estado inicial.  $s_0 \in S$ ;

- $C$  es el conjunto de elementos y hechos contextuales. Se conforma en base a los datos del contexto del estudiante, como su ubicación y momento;

- $R$  es el conjunto de restricciones que debe cumplir el plan. Está dado por el tiempo disponible, por lo tanto, define el tiempo total del recorrido del camino;

-  $f$  es la función contextual,  $S \times C \rightarrow A$ , la que asocia un estado  $s \in S$  y un contexto  $c \in C$ , a una acción  $a \in A$  que será ejecutada,  $f(s, c) \in A$ ;

-  $G$  es el conjunto de estados objetivo.  $G \subseteq S$

Como resultado de esta fase, se obtienen todos aquellos caminos de aprendizaje que un estudiante puede recorrer para el aprendizaje del tema solicitado, y que se ajustan a su tiempo disponible, momento, ubicación actual y características personales.

Durante la fase de monitorización, un agente inteligente monitorea permanentemente el contexto para determinar si los cambios ocurridos perjudican la ejecución del camino seleccionado por el estudiante. Si lo hicieran, toma la nueva información contextual y el estado actual del estudiante en el recorrido del camino, para volver a la fase de planificación, a fin de garantizar que el estudiante logre su objetivo en el tiempo estipulado.

El método propuesto se validó con una situación hipotética en donde una estudiante desea aprender sobre la flora autóctona, en especial las plantas leguminosas. En la Figura 8 se puede observar el Modelo ambiental y la posición actual del estudiante.

En la fase de personalización, se aplican reglas en la ontología de dominio para obtener todos los recursos y actividades relacionadas a "plantas leguminosas de Santiago del Estero" y cuya ubicación se encuentra a no más de 2 km. Todos estos recursos y actividades, junto con el modelo ambiental generan el dominio de planificación que se utiliza en la fase de planificación.

Como resultado de esta fase, se obtienen dos caminos que llevan a la estudiante a recorrer un parque por diferentes puntos. Cada uno de estos puntos tiene asociada una actividad de observación donde se muestran las diferentes características del mismo, tales como el tipo de hoja, de tallo, de flor, etc.

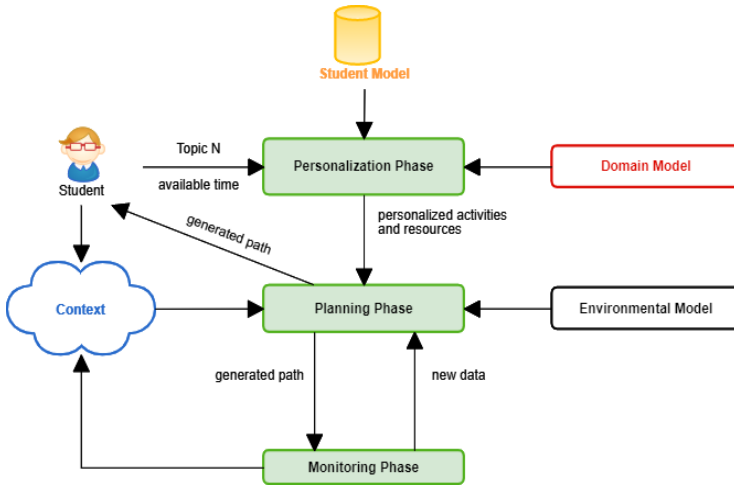


Figura 7. Método de generación de caminos de aprendizaje personalizados (Fernández-Reuter et al., 2018).

Uno de los caminos generados tiene una duración de 57 min y lleva a la estudiante a identificar, en primer lugar, una tipa colorada, luego una pezuña de vaca y finalmente un algarrobo negro. El otro camino, de 60 min., la lleva en otra dirección, donde encontrará en primer lugar una pezuña de vaca, luego una tipa colorada y finalmente el mismo algarrobo negro con el que finaliza el otro camino de aprendizaje. Siempre que respete los tiempos de cada actividad, podría completar el recorrido del camino seleccionado sin inconvenientes.





Figura 8. Modelo ambiental y ubicación del estudiante.

Si la estudiante selecciona el primer camino de aprendizaje y se queda en un punto de interés más tiempo del estipulado, el Agente de Monitorización detecta que el recorrido del camino excederá al tiempo disponible de la estudiante. Informa al planificador la ubicación de la estudiante y el nuevo tiempo disponible para que se replanifique el camino. El nuevo camino modifica las actividades propuestas en cada punto de interés. De esta manera, el tiempo total del recorrido del camino sigue cumpliendo el tiempo estipulado en la restricción.

### *Desarrollo del Servicio 3: Recomendaciones personalizadas de puntos de interés cercanos a la ubicación del estudiante*

Este servicio fue presentado en Montoto y otros (2018). El sistema recomienda los PI más cercanos a la ubicación actual del estudiante considerando su historia de aprendizaje. La aplicación permite, a través de la geolocalización, recomendar al estudiante PI cercanos dentro de la universidad. Cada PI tiene asociados OA. La aplicación personaliza los contenidos

de acuerdo con el conocimiento previo y el tiempo disponible que posee el estudiante.

La aplicación ubicua diseñada para este servicio está basada en tecnología móvil, para smartphones que cuenten con el sistema operativo Android. Está destinada a los estudiantes que cursen el Taller de ambientación Universitaria perteneciente al curso de ingreso que tiene lugar en la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías de la UNSE. Una vez que el estudiante realiza el Login (Figura 9), la aplicación le solicita el tiempo del que dispone para interactuar con los OA como lo muestra la Figura 10.



Figura 9. Interfaz de logueo

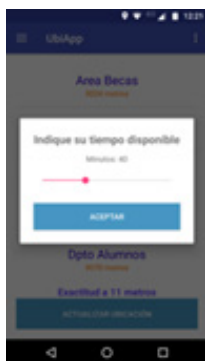


Figura 10. Ingreso de tiempo disponible



Figura 11. PI recomendados

Una vez indicado el tiempo disponible, se procede a geolocalizar al estudiante y recomendarle los PI cercanos a su posición. También se le indica una distancia aproximada (en metros) hasta el punto de interés (Figura 11).

De acuerdo con PI seleccionado, la aplicación recomienda OA de forma personalizada. La personalización se lleva a cabo teniendo en cuenta los OA sobre los cuales el estudiante to-

davía no realizó un aprendizaje, como así también de acuerdo con el tiempo disponible que indique al momento de iniciar la aplicación.

Por último, el estudiante interactúa con el OA seleccionando y realiza su evaluación final. La aplicación determina el estado de ese OA (aprobado/desaprobado) y se almacena el estado en el servidor actualizándose automáticamente la lista de OA a recomendar.

*Desarrollo del Servicio 4: Recomendar asesoramiento experto al estudiante para cumplir con una tarea específica*

En Durán y Álvarez (2017, 2018) se ha presentado un método para generar recomendaciones de expertos temáticos a un estudiante, cuando este lo requiere para poder avanzar con sus actividades. El método considera datos del perfil del estudiante, datos del contexto y patrones de valoración de los expertos realizados por otros estudiantes. Se pueden recomendar tanto expertos que se encuentren presentes físicamente como aquellos que estén conectados en línea. Para el diseño del método se realizaron algunas consideraciones previas:

- Se asume que el estudiante se ha identificado en el sistema y que este lee de su dispositivo las coordenadas de su ubicación.
- El sistema ha recuperado de la ontología del Modelo del Estudiante los cursos en el que está inscripto y se los muestra para que el estudiante seleccione el curso que quiere realizar.
- A partir del curso seleccionado y, sobre la base de la consulta a la Ontología del Modelo del Dominio y a la Ontología del Modelo del Estudiante, que contiene los conocimientos y actividades previas del estudiante, la aplicación confecciona y muestra una lista de temas aún no trabajados por el estudiante. Con el listado de temas, el alumno selecciona el de su interés.
- Se asume que los expertos (docentes) activos se han re-

gistrado en el sistema y que este lee desde sus dispositivos móviles las coordenadas de sus ubicaciones.

En la Figura 13 se muestran los pasos del método propuesto para la generación de las recomendaciones de expertos, que son:

1. Filtrado de expertos en el tema: con el tema seleccionado por el estudiante, se genera un conjunto E de expertos en ese tema, infiriéndolos a partir de la Ontología del Contexto Social.
2. Filtrado de alumnos que ya trabajaron el tema: con el tema seleccionado por el estudiante, se genera un conjunto A de alumnos que ya trabajaron en el tema seleccionado por el estudiante, infiriéndolos a partir de la Ontología del Modelo de Estudiante.
3. Generación de la recomendación: Se generan dos tipos de recomendaciones: de expertos cercanos físicamente y de expertos que se encuentran en línea.
  - 3.a. Para el primer caso, y tomando como base el modelo propuesto en El-Bishouty y otros (2008), se realiza lo siguiente:
    - 3.a.1. Generación de la matriz de pesos. Las preferencias de cada estudiante respecto a los expertos se expresan como un vector de pesos, donde cada elemento del vector se calcula como el cociente entre el número de veces que el experto  $j$  asesoró al alumno  $i$  sobre el número total de veces que el alumno  $i$  fue asesorado por expertos en ese tema. Esta información se obtiene a partir de una base de datos de transacciones. Si se consideran los vectores de peso de todos los estudiantes, es posible construir la matriz de pesos con las preferencias de los estudiantes que ya trabajaron el tema en relación con los expertos de ese tema.
    - 3.a.2. Generación de vector de distancias. Para considerar la característica contextual (ubicación) se calcula

la distancia en metros de cada experto con respecto a la ubicación actual del estudiante. Para ello se consideran las coordenadas geográficas (latitud y longitud) que se obtienen del GPS de los dispositivos móviles de los expertos y del estudiante. Por lo tanto, se obtiene el vector de distancias  $\langle d_1, d_2, \dots, d_m \rangle$ . A partir de este vector se obtienen los ponderadores  $(1/d)$  que permiten valorar con mayor peso a los expertos que se encuentran más cerca del estudiante que realiza la consulta y con menor peso a los que se encuentran más lejos.

3.a.3. Cálculo de la función de puntuación para la recomendación. Se define una función de puntuación para la recomendación que permite obtener un vector  $\langle ET_1, ET_2, ET_3, \dots, ET_n \rangle$  con valores ponderados para cada experto en el tema sobre el que el alumno quiere hacer la consulta. Luego se ordenan de mayor a menor los elementos del vector y se genera la recomendación de expertos al estudiante.

3.b. Para generar recomendaciones de expertos que se encuentran en línea, del conjunto de expertos se filtra a aquellos que se encuentran en línea y disponibles en ese momento. Luego se construye la matriz de pesos de la misma forma que en el caso anterior y a partir de ella se aplica la función de puntuación para la recomendación, sin considerar en este caso la ponderación con base en la distancia.

Realizada la recomendación, el estudiante elige el experto y la aplicación habilita el chat, el cual es deshabilitado una vez concluida la consulta. Finalmente, actualiza la base de datos de transacciones.

Para evaluar el método se llevó a cabo un experimento de simulación. Para esto se generaron aleatoriamente las varia-

bles más relevantes de la situación de aprendizaje y se realizó la simulación para 10 estudiantes. A partir de los resultados obtenidos y mediante la utilización de la métrica de precisión se pudo concluir que el método genera recomendaciones con un alto nivel de precisión (Durán y Álvarez, 2018).

### 3.2.5. Desarrollo del Servicio 5: El estudiante solicita la colaboración de pares para cumplir con una tarea específica

En Álvarez y otros (2017) se ha presentado un método que permite generar recomendaciones de pares para realizar una actividad colaborativa y ubicua. El método consta de las siguientes etapas (Figura 14):

A) Verificación de condiciones temporales: a partir de la actividad seleccionada, se filtran los PI involucrados en la tarea. Por cada PI se debe verificar si el horario actual se encuentra en el rango de las restricciones horarias del PI. Esta información se infiere de las ontologías del Modelo de Dominio y de PI.

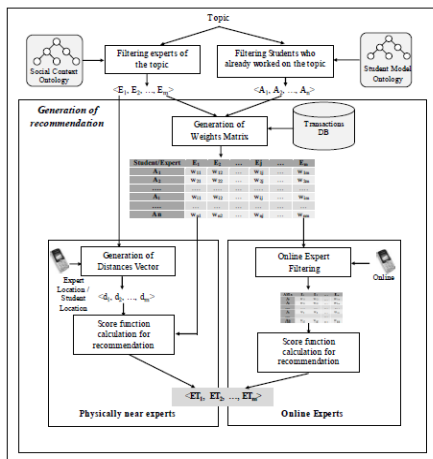


FIGURA 13. Método para la generación de las recomendaciones de expertos (Durán y Álvarez, 2017).

B) Selección de pares basada en el perfil de estudiante: se obtiene una lista de compañeros de grupo candidatos que deben cumplir con las siguientes condiciones: tienen que realizar la misma actividad y deben haber concluido con los temas y/o actividades anteriores que son prerrequisitos para realizar la actividad ubicua y colaborativa actual. Para realizar esta etapa, se requiere determinar el tema de la actividad y los prerrequisitos necesarios para realizarla. Este conocimiento se infiere de la ontología del Modelo de Dominio y de la ontología del Modelo del Estudiante

C) Selección de pares basada en tiempo disponible: a partir de la lista obtenida anteriormente, se infieren a los compañeros cuyos tiempos disponibles (dato ingresado por los estudiantes a través de sus dispositivos móviles) sean mayores o iguales a lo consignado como tiempo necesario para realizar la actividad (obtenido de la ontología del Modelo de Dominio).

D) Selección de pares basada en el perfil de interacción de los estudiantes: en este método se propone que, a partir de la lista de compañeros candidatos anterior, se infiera a los estudiantes que tiene un alto nivel de interactividad y a los que poseen un bajo nivel de interactividad de manera tal de obtener grupos heterogéneos. Los datos del nivel de interactividad se obtienen de la ontología del Modelo del Estudiante. Como salida de esta etapa se obtienen dos listas de estudiantes: una con los de alto nivel de interactividad y la otra con los de bajo nivel.

E) Selección de pares basada en datos del contexto: a partir de las listas generadas en la etapa anterior, se infieren a aquellos compañeros que se encuentren físicamente en una ubicación cercana. En este caso, para la formación del grupo se considera la propuesta de Messeguer y otros (2010) que utiliza el algoritmo de Dijkstra. Este calcula el camino más corto desde un nodo origen hacia los demás nodos del grafo. En este método, el nodo origen es la ubicación geográfica del alumno que requiere realizar la actividad ubicua y colaborativa y los

restantes nodos del grafo son la posición (latitud y longitud) de los otros estudiantes que integran las listas obtenidas en el paso anterior. La información de las coordenadas geográficas de los estudiantes se obtiene del GPS de sus dispositivos. El grafo tendrá dos tipos de nodos que diferencian a los estudiantes con alto y con bajo nivel de interactividad.

Previamente a la aplicación del algoritmo, se calculan las distancias entre los nodos, valor que se asigna a las aristas del grafo. Bajo la premisa de conformar grupos pequeños (4 integrantes) y heterogéneos (con al menos uno de cada nivel de interactividad) fue necesario modificar el algoritmo de Dijkstra.

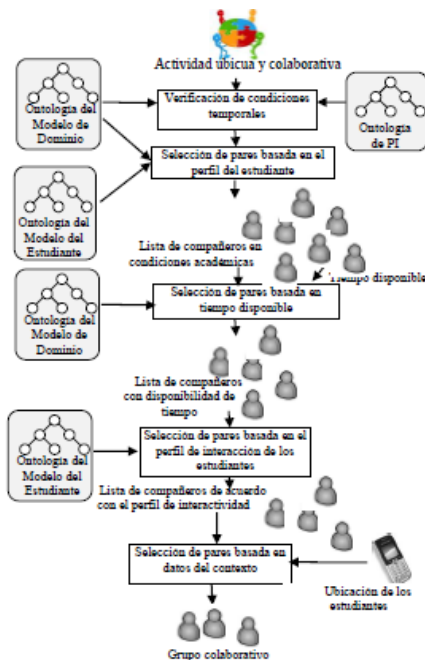


Figura 14. Método de personalización para aplicaciones de AU y aprendizaje colaborativo (Álvarez et al., 2017).



El algoritmo debe encontrar el camino más corto desde el nodo origen hasta completar un recorrido de 4 nodos con estudiantes heterogéneos. Ya que el algoritmo presenta un orden de complejidad de  $O(|V|^2)$ , sin utilizar cola de prioridad, con  $|V|$  = cantidad de vértices, se considera adecuado realizar los filtrados presentados en los ítems para reducir los posibles candidatos y, por lo tanto, disminuir la cantidad de vértices.

### *Estrategia de personalización empleada en cada servicio*

La estrategia de personalización empleada en cada uno de los servicios antes mencionados, y presentada en Durán y otros (2020), combina la técnica de personalización híbrida con los tipos de adaptación que se describen más adelante. La técnica de personalización híbrida está compuesta por personalización basada en perfiles de usuario, que permite adaptar las recomendaciones dadas al estudiante en función de sus características relevantes, y la personalización sensible al contexto, que realiza la adaptación de las recomendaciones basándose en los aspectos que caracterizan una situación de aprendizaje particular, el ambiente donde se concreta y los dispositivos y medios que se usan.

Los tipos de adaptación considerados son:

1. Adaptación didáctica: consiste en adaptar el diseño instruccional a partir de un planeamiento riguroso en el que se establecen criterios respecto a los contenidos con que se abarcarán las unidades de aprendizaje del dominio de conocimiento, el conjunto de actividades y la ruta instruccional a proponer al estudiante conforme a sus características y condiciones contextuales.
2. Adaptación de interfaz: se fundamenta en la disposición del sistema para el estudiante con las adaptaciones de presentación, respecto a la disposición en que los materiales y actividades son provistos, con una apariencia

e interacción conforme a las condiciones de cada estudiante, y de navegación, que incluye la estructura de los enlaces (basado en web) o relaciones interobjetos para el desplazamiento por el sistema.

3. Adaptación colaborativa: consiste en adaptar las recomendaciones para las actividades colaborativas del estudiante, abarcando principalmente la recomendación de colaboradores acorde a las características personales y contextuales propias de los estudiantes y de sus posibles colaboradores (pares o expertos).

Se utiliza, además, un enfoque semántico mediante el uso de ontologías para el modelado tanto de los datos del perfil como del contexto. En ambos casos, la técnica aplicada para filtrar los aspectos relevantes a recomendar, son las reglas (Durrán et al., 2020).

La información necesaria para proporcionar adaptabilidad y personalización se puede recuperar de diferentes fuentes. A tal fin, se han considerado los parámetros situacionales propuestos en Hwang y otros (2008), que incluyen principalmente la situación del usuario y su ambiente y los datos personales y ambientales recuperados de las respectivas bases de datos. En la tabla 1 se sintetiza para cada servicio el tipo de personalización y adaptación que se emplea y los parámetros situacionales que se consideran para implementar la personalización.

Servicio	Recomendación personalizada	Parámetros situacionales	Tipo de adaptación y técnica de personalización
1	Recomendar OA para PI seleccionados por el estudiante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Situación personal detectada por el sistema: tipo dispositivo que usa el estudiante, tiempo disponible del estudiante.</li> <li>· Situación ambiental detectada por el sistema: horarios de disponibilidad del PI.</li> <li>· Datos personales recuperados de las ontologías: estilo de aprendizaje del estudiante, nivel de interactividad, y nivel de conocimiento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adaptación didáctica de contenido.</li> <li>· Adaptación de interfaz para presentación.</li> <li>· Personalización híbrida que combina personalización sensible al contexto y personalización basada en el perfil del usuario.</li> </ul>

2	Recomendar un camino de aprendizaje a partir de un objetivo de aprendizaje seleccionado por el estudiante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Feedback del sensor del dispositivo móvil (ubicación actual del estudiante).</li> <li>· Datos personales recuperados de las ontologías (perfil de usuario, conocimientos previos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adaptación didáctica de secuencia.</li> <li>· Algoritmo heurístico para determinar camino de aprendizaje.</li> </ul>
3	Recomendar PI cercanos a la ubicación del estudiante.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Feedback del sensor del dispositivo móvil (ubicación actual del estudiante).</li> <li>· Datos personales recuperados de las ontologías (conocimientos previos).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adaptación didáctica de contenido</li> <li>· Personalización híbrida que combina personalización sensible al contexto y personalización basada en el perfil del usuario</li> </ul>

4	Recomendar expertos para que asesoren al estudiante para cumplir con una tarea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Situación personal detectada por el sistema (preferencia del alumno: consulta en línea o presencial).</li> <li>· Feedback del sensor del dispositivo móvil (ubicación actual del estudiante para la consulta presencial).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adaptación de colaboración</li> <li>· Personalización híbrida que combina personalización sensible al contexto y personalización basada en el perfil del usuario.</li> </ul>
5	Recomendar pares para que realicen una actividad colaborativa.	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Situación personal detectada por el sistema (preferencia del alumno: consulta en línea o presencial).</li> <li>· Feedback del sensor del dispositivo móvil (ubicación actual del estudiante para la consulta presencial).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· Adaptación de colaboración</li> <li>· Personalización híbrida que combina personalización sensible al contexto y filtrado colaborativo.</li> </ul>

**Tabla 1.** Implementación de la estrategia en los diferentes servicios (Durán et al., 2020)

## Conclusiones

En este capítulo, se presentaron los principales resultados de la ejecución del proyecto "Métodos y Técnicas para Desarrollos de Aplicaciones Ubicua", perteneciente a la convocatoria 2016 de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la UNSE. Este proyecto permitió afianzar líneas de investigación sobre computación ubicua, personalización y ontologías, ya existentes en el IISI; de esa manera se contribuyó a una mejora en el fondo de conocimiento disciplinar disponible no solo a nivel local sino también regional y nacional.

En relación con los resultados obtenidos, la arquitectura basada en modelos ontológicos sirvió de marco al diseño de aplicaciones ubicuas; al estar basada en modelos, permitió abordar convenientemente la complejidad del diseño, y las ontologías favorecieron la personalización de los diferentes servicios que ofrece la aplicación.

El modelo de servicios, que integra esta arquitectura, constituyó también una herramienta útil en el proceso de instanciación para identificar los diferentes servicios que una aplicación de aprendizaje ubicuo puede llegar a ofrecer; como, por ejemplo, para identificar los servicios a ofrecer a un estudiante de la materia Redes de Computadoras de una carrera universitaria en Informática; o para generar caminos de aprendizaje personalizados en entornos de aprendizaje ubicuo, como el propuesto en el servicio 2. Para este último caso, se planteó la utilización de algoritmos de planning con el fin de determinar la secuencia de acciones que un estudiante debe seguir para el aprendizaje de un tema específico en ambientes ubicuos que no se centren en un lugar determinado como museos o jardines botánicos. Estos algoritmos, combinados con técnicas de personalización, permiten que la secuencia de acciones se adapte a las características personales de cada estudiante y al contexto del alumno.

También, como resultado del proyecto, se ha desarrollado una aplicación ubicua para el apoyo a un taller del curso de ingreso de la FCEyT-UNSE. Con el diseño planteado se ha buscado alcanzar las características esenciales del aprendizaje ubicuo como son la permanencia, la accesibilidad, la inmediatez y la conciencia del contexto. Por otra parte, en esta aplicación, el aprendizaje ubicuo se ve enriquecido al considerar aspectos de personalización, ya que se le recomiendan al estudiante OA en función a su tiempo disponible para realizar la tarea y a su conocimiento previo. De esta forma, combinando información contextual con información del modelo de estudiante, se logra proporcionar un soporte más conveniente y efectivo al estudiante.

Por otra parte, el método presentado para recomendar expertos con base a las consultas realizadas por otros estudiantes y a la distancia física que los separa permite generar recomendaciones apoyadas en experiencias previas de otros estudiantes; además, simplifica al estudiante la tarea de contactar al docente para concretar una consulta personal. De la misma forma, la propuesta de un método para el agrupamiento de estudiantes, cuando tienen que realizar un aprendizaje situado y colaborativo apoyado por tecnología de computación ubicua, tiene como fortaleza el análisis, en el agrupamiento, de los parámetros situacionales que son relevantes en un aprendizaje ubicuo: la ubicación del estudiante y de sus compañeros, el nivel de conocimiento de los estudiantes, el tiempo disponible para realizar la tarea y el nivel de interactividad de cada estudiante. Esto permite obtener grupos homogéneos en cuanto al nivel de conocimiento de sus integrantes y heterogéneos en cuanto al nivel de interactividad. Otra fortaleza del método es la consideración de la cercanía de los integrantes para el agrupamiento.

Finalmente, respecto a la implementación de la estrategia propuesta para personalizar los servicios, se puede concluir

que proporciona un marco adecuado para personalizar, ya que facilita un diseño ordenado del módulo de adaptación en aplicaciones de software. Asimismo, la combinación de la estrategia con los parámetros contextuales enriqueció la generación de recomendaciones en la aplicación, ya que estas se basaron en datos ingresados por el estudiante, datos captados por el dispositivo móvil y datos inferidos por las ontologías. Por su parte, la estrategia basada en un enfoque de personalización híbrido resultó adecuada al ser aplicada a un caso particular, pues permitió adaptar los contenidos, la interfaz y la colaboración a los distintos parámetros contextuales. Por último, la técnica basada en reglas aplicada para filtrar los aspectos relevantes a recomendar resultó eficiente por cuanto permitió especificar claramente las condiciones de personalización tanto del contexto como del perfil del estudiante.

En consecuencia, es posible afirmar que los resultados obtenidos en el proyecto fueron de impacto relevante en diferentes ámbitos y sirvieron para mejorar la producción de sistemas de AU.



## Bibliografía

- Margarita Álvarez, Elena Durán y Silvina Únzaga (2012). "ONTO-AU: Una Ontología para sistemas de apoyo al aprendizaje ubicuo". En *VIII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*.
- Margarita Álvarez, Silvina Únzaga y Elena Durán (2013). "Un enfoque basado en modelos para representar el contexto en aplicaciones de aprendizaje ubicuo". En *IX Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*.
- Margarita Alvarez, Silvina Únzaga y Elena Durán. (2015). "Modelo de dominio en sistemas de aprendizaje ubicuo". En *10º Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA*.
- Margarita Álvarez, Silvina Únzaga y Elena Durán. (2017). "Método para generar recomendaciones personalizadas para integrar grupos de Aprendizaje Ubicuo y Colaborativo . En *XXIII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación* (pp. 363–372). Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/63610>
- Peter Brusilovsky y Christoph Peylo. (2003). "Adaptive and intelligent web-based educational systems". En *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. (13), 156–169.
- Rosa María Carro Salas. (2001). *Un mecanismo basado en tareas y reglas para la creación de sistemas hipermedia adaptativos: aplicación a la educación a través de Internet*. Tesis doctoral de la Universidad Autónoma de Madrid. Escuela Técnica Superior de Informática; Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Ingeniería Informática.
- Po Sheng Chiu, Yen Hung Kuo, Yueh Ming Huang, y Tzung Shi Chen (2008). "A meaningful learning based u-learning evaluation model". En *Proceedings - The 8th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies, ICALT 2008* (pp. 77–81). <https://doi.org/10.1109/ICALT.2008.100>
- Michael Curtis, Kathleen Luchini, William Bobrowsky, Chris Quintana y Elliot Soloway. (2002). "Handheld use in K-12:

- A descriptive account". En *Proceedings - IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education, WMTE 2002* (pp. 23–30). <https://doi.org/10.1109/WMTE.2002.1039217>
- Anind Dey. (2001). "Understanding and using context". En *Personal and Ubiquitous Computing*. 5(1), pp. 4 – 7. <https://doi.org/10.1007/s007790170019>
- Ge Jian Ding, Hui Li y Zhu Tingting. (2010). "A preliminary study of personal learning environment based on Ubiquitous Computing Model". En *3rd IEEE International Conference on Ubimedia Computing UMedia 2010* (pp. 350–354). IEEE. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/lpdocs/epic03/wrapper.htm?arnumber=5544429>
- Elena Durán, Margarita Álvarez, y Silvina Únzaga. (2014). "Ontological model-driven architecture for ubiquitous learning applications". En *7th Euro American Conference on Telematics and Information Systems* (pp. 1–6). Retrieved from <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2590651.2590776>
- Elena Durán y Margarita Álvarez. (2017). "Method for generating expert recommendations to advise students on ubiquitous learning experiences". En *Proceedings - International Conference of the Chilean Computer Science Society, SCCC*, 1–8. <https://doi.org/10.1109/SCCC.2017.8405121>
- Elena Durán, Margarita Álvarez y Silvina Únzaga. (2020). "Strategy for the generation of personalized recommendations: implementation in a ubiquitous learning application". En *EATIS '20: Proceedings of the 10th Euro-American Conference on Telematics and Information Systems* (pp. 1–8).
- Elena Durán y Margarita Álvarez. (2018). "Recommendations of experts to advise students on ubiquitous learning experiences: Method and validation". En *IEEE Latin America Transactions*. 16 (9), pp. 2314–2320. <https://doi.org/10.1109/TLA.2018.8789550>
- Elena Durán, Margarita Álvarez y Silvina Únzaga. (2016). "Ontological model for the personalization of U-learning applications". En *2016 8th Euro American Conference on*

- Telematics and Information Systems, EATIS 2016. Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* <https://doi.org/10.1109/EATIS.2016.7520154>
- Elena Durán, Margarita Álvarez, Silvina Únzaga y Matías Loto. (2015). "Instanciación del modelo de servicios para una aplicación de apoyo al aprendizaje ubicuo en un curso de redes de computadoras". En *Teknos Revista Científica*. 15 (1), pp. 31 - 42. <https://doi.org/10.25044/25392190.475>
- Elena Durán, Rosanna Costaguta, Marilena Maldonado, Silvina Únzaga, Greta Chequer, María de los Ángeles Menini, Daniela Missio y Norma Fernández. (2010). "Técnicas de aprendizaje de máquina y personalización en educación". *XII Workshop de Investigadores En Ciencias de La Computación (WICC 2010)*, 704–710.
- Moushir El-Bishouty, Hiroaki Ogata y Yoneo Yano. (2008). "A Model of Personalized Collaborative Computer Support Ubiquitous Learning Environment". En *Eighth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies* (pp. 97–101). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2008.55>
- Beatriz Fernández Reuter, Elena Durán y Analia Amandi, A. (2018). "Designing a hybrid method for personalized ubiquitous learning paths generation". En *Proceedings - International Conference of the Chilean Computer Science Society, SCCC, 2017-October*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/SCCC.2017.8405138>
- Christoph Fröschl. (2005). *User Modeling and User Profiling in Adaptive E-learning Systems*. Graz, Austria: Graz University of Technology.
- Sabine Graf Kinshuk. (2008). "Adaptivity and Personalization in Ubiquitous Learning Systems". En *4th Symposium of the Workgroup Human-Computer Interaction and Usability Engineering - USAB 2008* (pp. 331–338). Graz, Austria: Springer 2008.
- Gwo-Jen Hwang, Chin-Chung Tsai y Stephen Yang. (2008). "Criteria, Strategies and Research Issues of Context-Aware Ubiquitous Learning". En *Educational Technology & Society*.

- 11(2), 81–91.
- Gwo-Jen Hwang. (2006). "Criteria and Strategies of Ubiquitous Learning". En *IEEE International Conference on Sensor Networks, Ubiquitous, and Trustworthy Computing. Vol 2 - Workshops, 2*, 72–77. <https://doi.org/10.1109/SUTC.2006.49>
- Gi-Zen Liu y Gwo-Jen Hwang. (2010). "A key step to understanding paradigm shifts in e-learning: towards context-aware ubiquitous learning". En *British Journal of Educational Technology*. 41(2), E1–E9. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2009.00976.x>
- Seng Loke (2006). *Context-aware pervasive systems: architectures for a new breed of applications*. Nueva York: Auerbach Publications - Taylor & Francis Group.
- Urszula Markowska-Kaczmar, Halina Kwasnicka y Mariusz Paradowski. (2010). "Intelligent Techniques in Personalization of Learning in e-Learning Systems". En Fatos Xhafa, Santi Caballé, Ajith Abraham, Thanasis Daradoumis, Angel Alejandro y Juan Perez [ed.] *Computational Intelligence for Technology Enhanced Learning* (pp. 1–23). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Roc Messeguer, Esunly Medina, Dolores Royo, Leyro Navarro y Juárez, J. P. (2010). "Group prediction in collaborative learning". En *Proceedings - 2010 6th International Conference on Intelligent Environments* (pp. 350–355). <https://doi.org/10.1109/IE.2010.71>
- Daniel Montoto, Silvina Únzaga y Elena Durán. (2018). "Desarrollo de una aplicación ubicua personalizada de apoyo al curso de ingreso de la FCEyT-UNSE". En *XLVII Jornadas Argentinas de Informática e Investigación Operativa (47 JAIO) - XXI Concurso de Trabajos Estudiantiles (EST 2018)* (pp. 37–55). Retrieved from <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/71636>
- Hiroaki Ogata y Yoneo Yano. (2004). "Knowledge Awareness Map for Computer-Supported Ubiquitous Language-Learning". En *Proceedings. The 2nd IEEE International Works-*

*hop on Wireless and Mobile Technologies in Education*. pp.19 – 26.

Ken Sakamura y Noboru Koshizuka. (2005). "Ubiquitous Computing Technologies for Ubiquitous Learning". En *IEEE International Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE'05)*, pp. 11 – 20. <https://doi.org/10.1109/WMTE.2005.67>

Wen-Chung Shih y Shian-Shyong Tseng. (2009). "A Knowledge-based Approach to Retrieving Teaching Materials for Context-aware Learning". En *Educational Technology & Society*. 12 (1), pp. 82 – 106.

Melody Siadaty, Carlo Torniai, Dragan Gašević, Jelena Jovanović, Ty Mey Eap y Marek Hatala, M. (2008). "m-LOCO: An Ontology-based Framework for Context-Aware Mobile Learning". En *6th International Workshop on Ontologies and Semantic Web for Intelligent Educational Systems at 9th International Conference on Intelligent Tutoring Systems (ITS'08)* (pp. 40–49). <https://doi.org/10.1145/1143549.1143811>

Mark Weiser. (1991). *The computer for the 21st Century*. Scientific American Ubicomp.

Saadiah Yahya, Erny Arniza Ahmad y Kamarularifin Abd Jalil. (2010). "The definition and characteristics of ubiquitous learning : A discussion". En *International Journal of Education and Development Using Information and Communication Technology*. 6(1), pp. 1 – 12.



# DETERMINACIÓN DE VARIABLES TÉRMICAS DE *HEAT PIPE* TUBULARES, UTILIZADOS EN COLECTORES SOLARES PARA CALENTAR AIRE

CARLOS ALBERTO CATTANEO<sup>1</sup>; ANÍBAL OSCAR GÓMEZ KHAIRALLAH<sup>2</sup>;  
PABLO SEBASTIÁN TOGO<sup>3</sup>

## Resumen

Se estudian dos colectores solares con *heat pipe* para calentar aire. Los colectores solares se diferencian en el *heat pipe* utilizado, uno se construyó con un tubo de cobre y el otro con dos tubos de cobre concéntricos. Ambos se llenaron al 30 por ciento de su volumen con refrigerante R134a como fluido de trabajo, el panel colector que contiene al *heat pipe* y colecta la energía solar se fabricó con madera y polímero. Para caracterizar los *heat pipe* se determinaron las siguientes variables térmicas: el calor entregado, el flujo de vapor condensado, la

1 Director del Proyecto (23/C167), Magíster en Métodos Numéricos y Computacionales en Ingeniería. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías, Facultad de Agronomía y Agroindustrias (UNSE).

2 Magíster en Energías Renovables. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

3 Licenciado en Química, Facultad de Agronomía y Agroindustrias (UNSE).

resistencia térmica y el coeficiente de conductividad térmica efectivo del *heat pipe*.

De los resultados obtenidos se destaca el coeficiente de conductividad térmica de ambos *heat pipe*, los cuales son del orden de 10 veces superiores al de metales como cobre o aluminio. Indicando el buen desempeño de los *heat pipe* que forman parte del colector solar.

Palabras clave: *Heat pipe*, Colector solar, Resistencia térmica, coeficiente de conductividad térmica.

### Abstract

Two solar collectors with *Heat pipe* to heat air are studied. The solar collectors differed in the *Heat pipe* used, one was built with a copper tube and the other with two concentric copper tubes. Both were filled to 30 percent of their volume with R134a refrigerant as working fluid, the collector panel that contains the *Heat pipe* and collects the solar energy was made of wood and polymer. To characterize the *Heat pipes*, the following thermal variables were determined: the heat delivered, the condensed vapor flow, the thermal resistance and the effective thermal conductivity coefficient of the *Heat pipe*.

From the results obtained, the thermal conductivity coefficient of both *Heat pipes* stands out, which are of the order of 10 times higher than that of metals such as copper or aluminum. Indicating the good performance of the *Heat pipes* that are part of the solar collector.

Keywords: *Heat pipe*, Solar collector, Thermal resistance, Coefficient of thermal conductivity



## Introducción

Una parte importante de todo sistema de aprovechamiento energético solar es el colector solar, porque el colector es el que transforma la energía de radiación solar en calor. Este calor se puede utilizar para calentar agua, calentar aire, calefaccionar ambientes, etc.

Un tipo especial de colectores solares son los que usan *heat pipe* para transportar el calor. El *heat pipe* es un dispositivo que puede transmitir grandes cantidades de calor combinando los principios de conductividad térmica y de cambio de fase; esta eficacia en la transferencia de calor se basa en el uso del calor latente de vaporización del fluido de trabajo que contiene el *heat pipe*.

Los colectores solares *heat pipe* para calentamiento de agua se estudian desde hace muchos años, tal como lo indican los trabajos de Mathioulakis y Belessiotis (2002), Azad *et al.* (1987) y Oliveti y Arcuri (1996). Además, ya existen en el mercado gran variedad de calefones solares *heat pipe* para calentar el agua de consumo de las viviendas y edificios. Pero la investigación de colectores solares *heat pipe* para calentar aire es casi nula.

Para realizar un buen análisis térmico del colector solar *heat pipe*, es necesario primero realizar un exhaustivo análisis del dispositivo utilizado.

Brusly Solomon *et al.* (2016) estudiaron un dispositivo *heat pipe* de cobre que utiliza agua como fluido de trabajo y encuentran que su conductividad térmica aumenta con el aumento de flujo de calor transportado, con valores aproximados de conductividad térmica de 1000 W/(mK) para flujos de calor de 50 W, alcanzando valores de 18294 W/(mK) para flujos de calor de 300 W. También analizaron la resistencia térmica total del *heat pipe*, y encontraron que esta desciende a medida que aumenta el flujo de calor.

Salem *et al.* (1999) reportaron resultados para un dispositi-

tivo *heat pipe* de cobre con agua, donde se muestra que la conductividad térmica es mayor para *heat pipe* con mecha que para los sin mecha; sus resultados también indican que la conductividad térmica depende del ángulo de inclinación que tenga el dispositivo respecto de la horizontal.

Mozumder *et al.* (2010) analizaron un mecanismo *heat pipe* de cobre con distintos fluidos, distintos grados de llenado y distintas cargas térmicas, y observaron que la conductividad térmica y la resistencia térmica son dependientes de la combinación de estas tres variables.

El trabajo de Huang y Tsuei (1985) muestra que la conductancia de calor específica de un *heat pipe* es independiente de la temperatura del vapor interior.

Las determinaciones de la conductividad térmica y la resistencia térmica permiten comparar las prestaciones de este mecanismo de conducción térmica con las de una barra de metal macizo de iguales dimensiones, ambas colocadas entre las mismas fuentes de temperatura; se encontró que las prestaciones del *heat pipe* son muy superiores a la de la mayoría de los metales.

En este trabajo se estudia el comportamiento térmico de un *heat pipe* tubular de cobre, el cual está colocado en el interior de un colector solar. Las variables térmicas que lo caracterizaran se determinan a partir de los resultados experimentales obtenidos durante los ensayos del colector.

## Modelos para determinar las variables térmicas

En este trabajo solamente que analizarán variables térmicas relacionadas al tubo del colector solar *heat pipe*, al cual llamaremos *heat pipe* en el futuro. El que fue utilizado consta de dos zonas: la zona del colector, en la que se absorbe el calor que llega al tubo por radiación solar, el cual calienta y evapora el fluido de trabajo; y la zona del condensador, donde el fluido de trabajo se condensa cediendo este calor al exterior. La zona adiabática no se tiene en cuenta porque es muy pequeña. El fluido condensado en la zona del condensador desciende por las paredes del tubo a la zona colector (Figura 1).

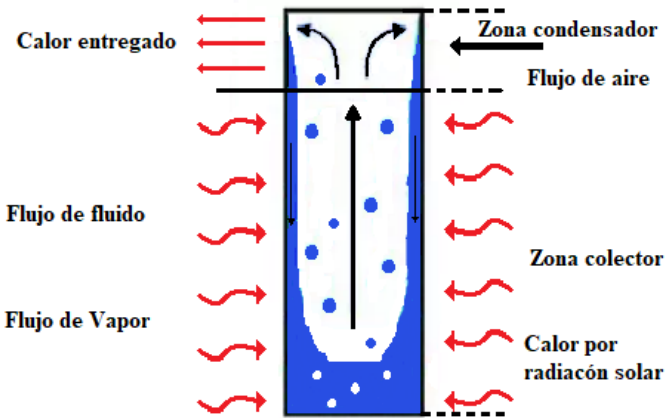


Figura 1. Esquema de funcionamiento de *heat pipe*, para calentar aire, en el que se indican las diferentes zonas y el movimiento del fluido de trabajo

### Determinación del calor entregado por *heat pipe*

Para determinar el flujo de calor entregado por el *heat pipe* al exterior, debemos tener en cuenta que ese calor es ganado por el aire que circula en la zona del condensador. Por lo tanto, consideraremos que ese flujo de calor es igual al calor que gana el aire que circula en la zona condensador del colector; este calor lo podemos calcular mediante la ecuación 1 analizada por Duffie y Beckman (2013).

$$\dot{Q} = \dot{m}_a C_a (\Delta T)_a \quad \text{ecuación 1}$$

donde:

$\dot{Q}$  : es el flujo de calor que entrega el *heat pipe* (W)

$\dot{m}$  : es el flujo másico de aire en la zona condensador (kg/s)

C : calor específico del aire en (J/(kg °C))

$\Delta T$  : diferencia entre la temperatura de salida y de entrada del aire en la zona condensador

### Estimación del flujo de vapor condensado en el *heat pipe*

Para determinar la tasa de condensación del fluido de trabajo dentro del *heat pipe*, consideraremos que el calor entregado por este dispositivo es producto solamente del calor entregado por el fluido de trabajo cuando este se condensa en la zona del condensador, el cual podemos calcularlo aplicando la ecuación 2 analizada por Ding *et al.* (2008):

$$m_{fi}^{\square} = \frac{\dot{q}}{h_{fi}} \quad \text{ecuación 2}$$

donde:

$m'_{fi}$  : es el flujo másico de fluido de trabajo condensado (kg/s)

$\dot{q}$  : es el flujo de calor que entrega el *heat pipe* (W)

$h_{fi}$  : es el calor latente de vaporización del fluido de trabajo (J/kg)

### Determinación de la resistencia térmica del *heat pipe*

Holman (1998) propone la aplicación de la analogía eléctrica a un sistema de transmisión de calor, con la cual podemos estimar la resistencia térmica del sistema; esta resistencia térmica indica la oposición del sistema a la transferencia de calor desde la zona de alta temperatura hasta la zona de baja temperatura. En el *heat pipe*, la zona caliente es la zona del colector y la zona fría es la zona del condensador; teniendo en cuenta esto, podemos calcular la resistencia térmica del dispositivo, considerando la diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora, dividiendo esta diferencia por el flujo de calor que es entregado, según la ecuación 3:

$$R_{te} = \frac{\Delta T_{c-c}}{\dot{q}} \quad \text{ecuación 3}$$

donde:

$R_{te}$  : es la resistencia térmica (°C/W)

$\dot{q}$  : es el flujo de calor que entrega el *heat pipe* (W)

$\Delta T_{c-c}$  : es diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora (°C)

### Determinación de coeficiente de conductividad térmica efectivo del *heat pipe*

Brusly Solomon *et al.* (2016) consideran al *heat pipe* como una barra conductora de calor desde la zona colector, la cual está a alta temperatura, a la zona condensadora que está a baja temperatura; aplicando la ecuación de calor de Fourier se estima el coeficiente de conductividad térmica efectivo del mecanismo mediante la ecuación 4:

$$k_{ef} = \dot{q} \frac{L_{ef}}{A \Delta T_{c-c}} \quad \text{ecuación 4}$$

donde:

$k_{ef}$  : coeficiente de conductividad térmica efectivo  
(W/ (m °C))

$\dot{q}$  : es el flujo de calor que entrega el *heat pipe* (W)

$\Delta T_{c-c}$  : es diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colector y la temperatura media del tubo en la zona condensadora (°C)

$A$  : es el área transversal del *heat pipe*

$L_{ef}$  : es la longitud efectiva del *heat pipe*

La longitud efectiva del *heat pipe* resulta de la suma de la mitad de la longitud del colector y de la mitad de la longitud del condensador como lo expresa la ecuación 5:

$$L_{ef} = \frac{L_{colector} + L_{condensador}}{2} \quad \text{ecuación 5}$$

## Desarrollo experimental

Los colectores solares *heat pipe* que se construyeron se basan en un tubo cilíndrico de metal, el cual funciona como tal, que está encerrado en una estructura de madera y de polímero diseñada para trabajar como colector solar.

Se realizaron dos diseños de *heat pipe*. El colector 1 consta de dos tubos de cobre: uno de 28 mm de diámetro exterior y otro de 22 mm de diámetro exterior; el espesor en ambos casos es de 1 mm (Figura 2a). El tubo de menor diámetro se aloja en el interior de tubo de mayor diámetro, con lo que se crea una cámara anular que separa a ambos tubos (no se encuentran en contacto); los extremos superior e inferior se cerraron empleando un cordón de soldadura con aporte de plata de bajo punto de fusión. El colector 2 consta de un solo tubo de cobre de 28 mm de diámetro exterior y de 1 mm de espesor (Figura 2b) cerrado en sus extremos superior e inferior con chapas de cobre soldadas.

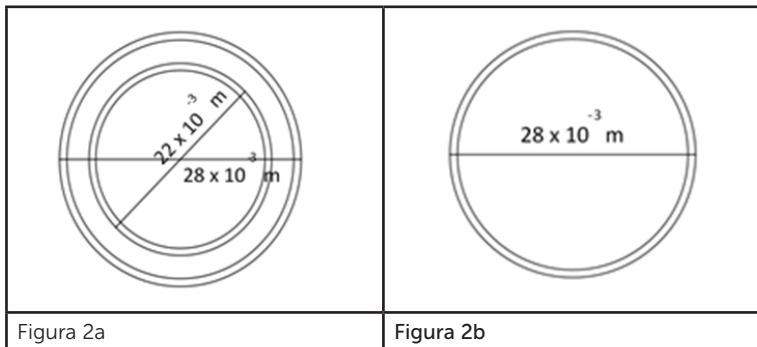


Figura 2. Vista en corte de los distintos *heat pipe* construidos.

Figura 2a: colector 1 formado con dos tubos concéntricos.

Figura 2b: colector 2 formado por un tubo.

Ambos colectores tienen una longitud de 1,2 m y en los extremos se colocaron puertos de acceso rápido (Figura 3), los cuales permiten realizar vacío en el *heat pipe*, eliminando el aire en el recinto interior del mismo para facilitar la carga de los equipos con el fluido de trabajo.

Los tubos se pintaron exteriormente de color negro mate para optimizar la absorción de la radiación solar incidente.



Figura 3. Foto del *heat pipe* en el que se muestran sus puertos de acceso rápido para la carga del fluido de trabajo.

Los tubos se colocaron dentro de una caja con forma de paralelepípedo de base rectangular con medidas interiores de 1,21 m x 0,14 m x 0,08 m construido en madera fenólica y recubierto en los costados con material aislante (lana de vidrio con *foil* de aluminio de 50 mm de espesor), la cual se encuentra pintada de color negro mate.

El recinto se encuentra dividido en dos compartimentos separados por un tabique; el compartimento inferior es la zona colectora de radiación solar donde se encuentra, en proporción, casi la totalidad del tubo; esta tiene una longitud de 1,1 m. El tabique deja en la parte superior un espacio de 0,12 m que es la zona de condensación del fluido de trabajo; en este compartimento es donde se produce la transferencia de calor desde los tubos de cobre al aire (fluido caloportador); para lograr esto, en el costado derecho se encuentran orificios de 10 mm de diámetro que permiten el ingreso del aire circundante



y en el costado izquierdo del compartimento se encuentra un forzador eléctrico de aire que extrae este aire hacia un ducto de salida de zinc de 100 mm de diámetro. El tabique separa las zonas del colector de radiación de la zona del condensador (Figura 4a).

En la cara superior del paralelepípedo se colocó policarbonato alveolar transparente de 4 mm espesor, el cual permite el ingreso de la radiación solar dentro del recinto colector, pero impide la pérdida de calor del recinto hacia el ambiente (Figura 4b).

Los tubos se cargaron con gas R-134a como fluido de trabajo y se llenaron hasta el 30% de su capacidad total; la carga del colector 1 fue de 0,300 kg y la del colector 2 de 0,117 kg.

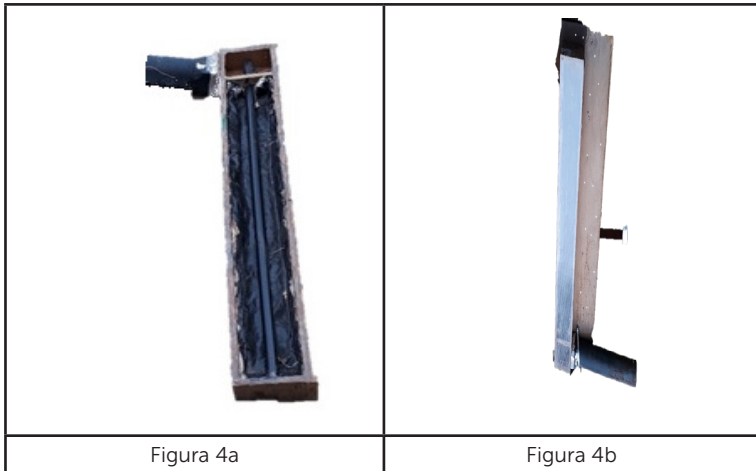


Figura 4. Colector solar. Figura 4a: interior del colector solar con el tubo *heat pipe* colocado, en él se puede distinguir la zona del colector de la zona del condensador. Figura 4b: colector solar con la cubierta de policarbonato colocada.

Se midió la temperatura a lo largo del tubo en 3 lugares de la

zona colectora: en la base, a los 42 cm y a los 80 cm, todas distancias medidas desde la base del tubo. También se midió la temperatura del tubo en el centro de la zona de condensación.

Además, en la zona de condensación se midió velocidad de circulación del aire y la temperatura con la que este entraba y salía de la misma.

Los colectores solares se colocaron orientados en sentido norte-sur, con un ángulo de inclinación de  $28^\circ$  de modo que la superficie colectora quede expuesta al norte, para aprovechar al máximo la radiación solar incidente sobre el colector.

El ensayo de los colectores se realizó en el mes de marzo de año 2020 en la ciudad de Santiago del Estero.

## Resultados y discusiones

Para determinar el flujo de calor que entrega el *heat pipe*, en la zona del colector se midió la temperatura del aire a la entrada y a la salida del mismo; también se midió la velocidad de circulación del aire. Las medidas instantáneas de la velocidad de aire alcanzaron valores medios del orden de 1 m/s para el colector 1 y valores medios de 0,9 m/s para el colector 2. La diferencia entre la temperatura de salida y de entrada del aire en la zona del condensador se muestra en Figura 5, en la que podemos observar que el ensayo se realizó entre la 10:00 y las 16:00 horas. Asimismo, podemos observar que la diferencia de temperatura entre la entrada y la salida del aire empezó aumentando suavemente hasta, aproximadamente, las 13:00 horas donde alcanza un equilibrio y, posteriormente, a las 15:30 horas empieza a disminuir

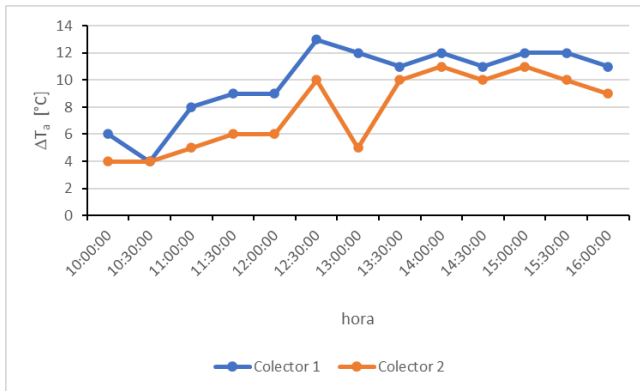


Figura 5. Diferencia entre la temperatura de salida y de entrada del aire en la zona del condensador.

Con estos datos registrados se calculó el flujo de calor que entrega el *heat pipe* mediante la ecuación 1. En la Figura 6 podemos ver como varía el flujo de calor a lo largo del tiempo de ensayo y se observa que el colector 1 entrega mayor flujo de calor que el colector 2.

Además, en las mismas gráficas observamos que el flujo de calor se estabiliza a partir de las 12:30 horas y no se observa una disminución en las últimas mediciones; esto indica que se ha alcanzado la inercia térmica del sistema.

Con el valor del flujo de calor que entrega el *heat pipe* calculado, se determinó el flujo másico de fluido de trabajo condensado mediante la ecuación 2; los resultados se muestran en la Figura 7, en la cual podemos observar que el flujo másico de fluido condensado aumenta rápidamente hasta alcanzar un máximo y, a partir de allí, empieza a disminuir la tasa de condensación; para el colector 1 la máxima tasa de condensación de fluido fue de 1,34 gr/s, mientras que para el colector 2 fue de 1,18 gr/s.

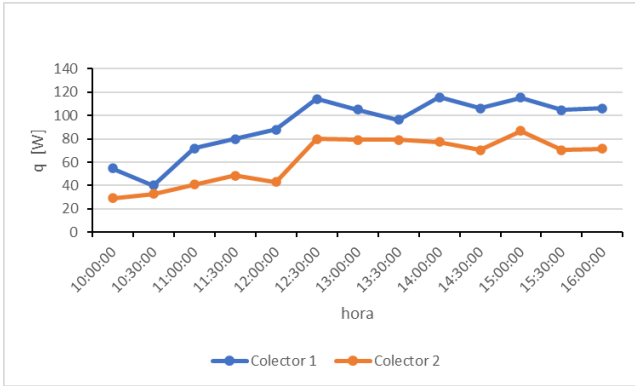


Figura 6. Flujo de calor que entrega el *heat pipe*.

Como se puede observar de las Figuras 6 y 7, la tasa de fluido condensado sigue la misma tendencia del flujo de calor entregado. El calor latente de vaporización del fluido de trabajo, utilizado para los cálculos del flujo másico de fluido de trabajo condensado, se tomaron de tablas para la temperatura media del colector.

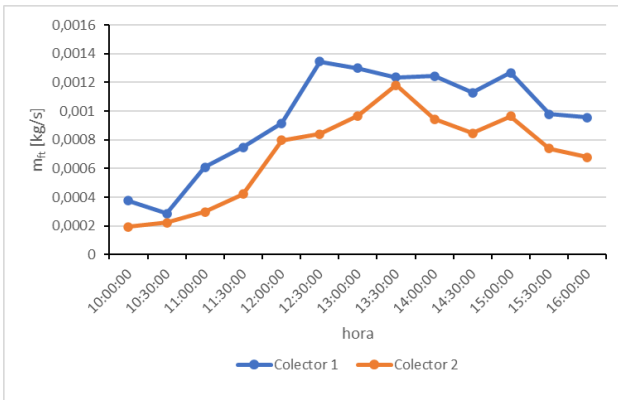


Figura 7. Flujo másico de fluido de trabajo condensado en el *heat pipe*.

La zona colectora del *heat pipe* mide 1,07 m; se midió la temperatura en tres puntos equidistantes de esta zona. La zona colectora mide 0,11 m y la temperatura de la misma se midió en la parte central. En la figura 8 se muestran los resultados para la diferencia entre la temperatura media del tubo en la zona colectora y la temperatura media del tubo en la zona condensadora. Se observa en ambos colectores que la diferencia de temperatura aumenta con el tiempo hasta llegar a un máximo a las 13:30 horas y a partir de allí empieza a disminuir. La diferencia de temperatura es siempre mayor en el colector 2 que en el colector 1.

En la figura 9 se muestran los resultados para la resistencia térmica del *heat pipe* calculada utilizando la ecuación 3; en esta podemos ver que la resistencia térmica del colector 2 es mayor a la del colector 1, con valores promedio de 0,30 °C/W para el colector 1 y de 0,52 °C/W para el colector 2

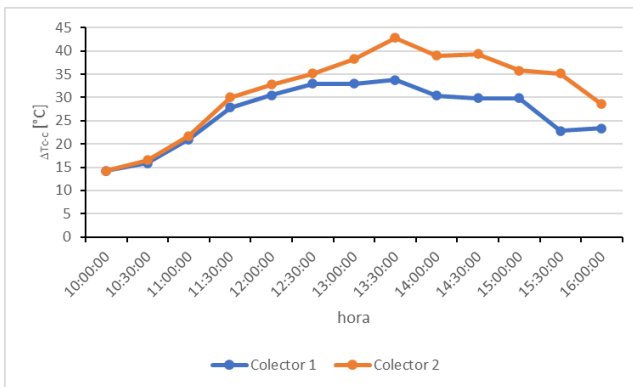


figura 8. Diferencia de temperatura, en el medio de la zona colectora y en el medio de la zona condensadora.

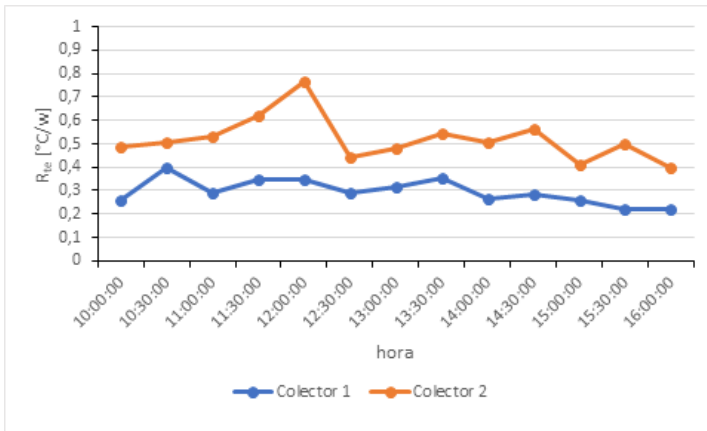


Figura 9. Resistencia térmica del *heat pipe*.

La longitud efectiva de los dispositivos *heat pipes* determinada por la ecuación 5 es de 0,59 m y el área transversal del colector 1 es de  $616 \times 10^{-6} \text{ m}^2$  y del colector 2 de  $302 \times 10^{-6} \text{ m}^2$ ; con estos datos se determinó el coeficiente de conductividad térmica efectivo. En la Figura 10 podemos observar que el coeficiente de conductividad térmica efectivo para el colector 1 es muy superior al del colector 2. Esto se corresponde con los resultados que se venían analizando, ya que la conductividad térmica efectiva es inversamente proporcional a la resistencia térmica, aunque la resistencia térmica se calcula proponiendo un modelo de equivalente eléctrico y solo tiene en cuenta variables termodinámicas del sistema, mientras que para calcular el coeficiente de conductividad térmica efectivo se utilizó un modelo de condición de Fourier en el que se tienen en cuenta las variables térmicas y las variables geométricas del *heat pipe*.

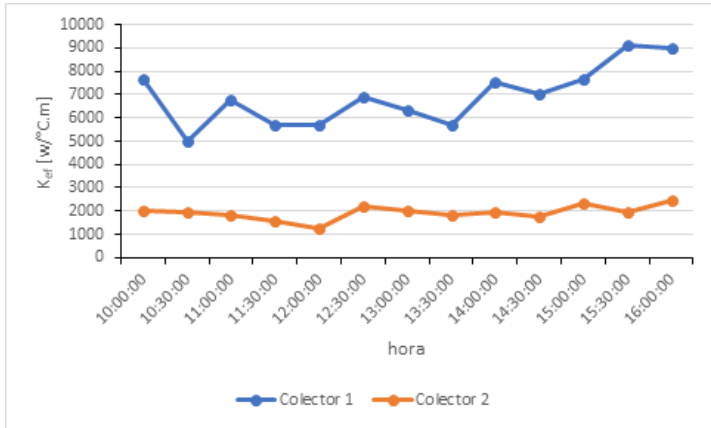


Figura 10. Coeficiente de conductividad térmica efectivo del *heat pipe*.

El valor promedio para el coeficiente de conductividad térmica efectivo del colector 1 es 6930 W/(m °C) y para el colector 2 es de 1930 W/(m °C). Estos son valores muy superiores a las conductividades térmicas de los metales puros; la conductividad térmica del cobre es 380 W/(mK), la del aluminio es 237 W/(mK) y la del el acero es 55 W/(mK). Esto indica que ambos dispositivos *heat pipe* construidos aumentan la eficiencia en la transmisión de calor desde la zona colectora a la zona condensadora del colector solar.

Esta mejora en la conductividad térmica es la razón por la cual es más beneficioso construir un tubo *heat pipe* que usar una barra maciza de metal de las mismas dimensiones, para transportar calor.

## Conclusiones

Se construyeron dos *Heat pipe* tubulares, los cuales forman parte de un colector solar para calentar aire. Uno de ellos se construyó con dos tubos de cobre concéntricos y el otro con un solo tubo de cobre.

El *heat pipe* del colector 1, que consta de dos tubos de cobre concéntricos, presenta mejor performance que el correspondiente del colector 2, que está construido con un solo tubo de cobre, porque tiene menor resistencia térmica y mayor coeficiente de conductividad térmica efectivo, valores que nos indican que el *heat pipe* del colector 1 es más eficiente en el proceso de transferencia de calor, desde la zona colector a la zona condensador. Además, se observa que el aire que circula por la zona del condensador alcanza mayor temperatura en el colector 1 que en el colector 2.

Los coeficientes de conductividad térmica efectivo promedio medido para los *heat pipe* construidos son muy superiores a los del cobre puro ( $380 \text{ W/(mK)}$ ), del que resulta 18 veces superior en el caso del dispositivo del colector 1 ( $6930 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ ) y 5 veces superior en el caso del dispositivo del colector 2 ( $1930 \text{ W/(m}^\circ\text{C)}$ ).



## Bibliografía

- Azad E., Bahar F. y Moztarzadeh F. (1987). "Solar water heater using gravity-assisted heat pipe". *Heat Recovery Systems*. 7(4), pp. 343-350.
- Brusly Solomon A., Sekar A. y Yanget S. (2016). "Analytical expression for thermal conductivity of heat pipe". *Applied Thermal Engineering*. (100), pp. 462–467.
- Ding C., Soni G., Bozorgi P., Piorek B., Meinhart C y MacDonald N. (2008). "A titanium based flat heat pipe". Proceedings of ASME/IMECE: 2008 International mechanical engineering congress and exposition. Boston Massachusetts.
- Duffie, J. A. y Beckman, W. A. (2013). *Solar engineering of thermal processes*. Fourth edition. New Jersey: John Wiley & Son, Inc.
- Holman, J. P. (1998). *Transferencia de calor*. Primera edición en español. Madrid: McGraw-Hill.
- Huang B. and Tsuei J. (1985). "A method of analysis for heat pipe exchangers". *Int. J. Heat Mass Transfer*. 28(3), pp. 553-562.
- Mathioulakis E. y Belessiotis E. (2002). "A new heat-pipe type solar domestic hot water system". *Solar Energy*. 72(1), pp. 13–20.
- Mozumder A., Akon A., Chowdhury M. y Banik S. (2010). "Performance of heat pipe for different working fluids and fill ratios". *Journal of Mechanical Engineering*. 41(2), pp. 96-102.
- Oliveti G. y Arcuri N. (1996). "Solar radiation utilisability method in heat pipe panels". *Solar Energy*. 57(5), pp. 345-360.
- Salem A. y Bilal A. (1999). "Experimental performance of a heat pipe". *Int. Comm. Heat Mass Transfer*. 26(5), pp. 679-684.

# TECNOLOGÍAS COMBINADAS PARA LA CONSERVACIÓN DE VEGETALES MÍNIMAMENTE PROCESADOS

SILVIA DEL CARMEN RODRÍGUEZ<sup>1</sup>; MARIANA JUDITH FARIÁS<sup>2</sup>;  
DIEGO RICARDO GUTIÉRREZ<sup>3</sup>; MARÍA LAURA LEMOS<sup>4</sup>

## Resumen

La demanda de los vegetales mínimamente procesados se ha incrementado en los últimos tiempos debido a su frescura y comodidad de uso. Sin embargo, las operaciones unitarias llevadas a cabo durante su preparación, tales como lavado, pelado y cortado, causan un estrés que altera el metabolismo de los tejidos. Debido a lo mencionado, la vida útil de los vegetales recién cortados tiende a ser muy corta y, por lo tanto, es

1 Directora del Proyecto "Tecnologías de barreras aplicadas a vegetales IV gama. Efecto sobre la conservación, fisiología y compuestos bioactivos". Doctora. ICyTA-FAyA-UNSE y CIBAAL-UNSE-CONICET.

2 Ingeniera en Alimentos. ICyTA-FAyA-UNSE y CIBAAL-UNSE-CONICET.

3 Doctor en Alimentos. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (ICyTA-FAyA-UNSE).

4 Doctor en Alimentos. CIBAAL-UNSE-CONICET y ICyTA-FAyA-UNSE.

necesario aplicar diferentes tecnologías poscosecha que, solas o combinadas, permitan prolongar la conservación de estos productos. En este capítulo, se evalúa la aplicación de diferentes tratamientos o tecnologías poscosecha solas y combinadas, tales como refrigeración, atmósferas modificadas pasivas y activas, radiación UV-C y ozono gaseoso en hojas de rúcula cortada mínimamente procesadas. Las aplicaciones combinadas de algunas de estas tecnologías fueron efectivas tanto en la extensión de la vida útil como en la inhibición del desarrollo microbiano. Los tratamientos de radiación UV-C y  $O_3$  aplicados y su combinación no afectaron la calidad sensorial, contenido de clorofila total, compuestos fenólicos ni la capacidad antioxidante de la rúcula mínimamente procesada. Sin embargo, estos tratamientos controlaron mejor el crecimiento de los microorganismos alterantes que las muestras no tratadas (solo envasadas con AMP). La aplicación combinada de UV-C y  $O_3$  no produjo un efecto sinérgico o aditivo con respecto a los tratamientos aplicados en forma individual en el producto. La información proporcionada en este capítulo muestra que el uso de radiación UV-C y ozono gaseoso en las dosis adecuadas podría ser una herramienta útil para la industria alimentaria, con el fin de mantener la calidad y seguridad general de las hojas frescas cortadas de rúcula; además, resultan ser sanitizantes efectivos alternativos al hipoclorito ( $NaClO$ ) que, al mismo tiempo, minimizan el consumo de agua potable y las descargas de aguas residuales.

Palabras clave: UV-C, ozono, rúcula, vida útil.

## Abstract

The demand for minimally processed vegetables has increased in recent times due to their freshness and convenience. However, the unit operations carried out during its preparation such as washing, peeling and cutting, cause stress that alters the metabolism of the tissues. For these reasons, the shelf life of fresh-cut vegetables tends to be very short and therefore, it is necessary to find new post-harvest technologies that prolong the conservation of these products. This chapter evaluates the application of technologies such as UV-C radiation and gaseous ozone combined with packaging in passive modified atmosphere (MAP) in minimally processed cut rocket leaves during refrigerated storage. Combined applications of these techniques could be effective in both shelf life extension and inhibition of microbial growth in minimally processed vegetables. The radiation UV-C and O<sub>3</sub> treatments applied and their combination did not affect the sensory quality, total chlorophyll content, phenolic compounds or the antioxidant capacity of the minimally processed arugula. However, these treatments controlled the growth of the spoilage microorganisms better than the untreated samples (only packed with AMP). The combined application of UV-C and O<sub>3</sub> did not produce a synergistic or additive effect with respect to the treatments applied individually on the product. The information provided in this chapter shows that the use of UV-C radiation and gaseous ozone in the appropriate doses could be a useful tool for the food industry to maintain the quality and general safety of fresh cut rocket leaves, being sanitizers effective alternatives to hypochlorite (NaClO) and at the same time minimizing drinking water consumption and wastewater discharges.

Keywords: UV-C, ozone, rocket, shelf life.

## Introducción

El consumo de frutas y hortalizas tiene importantes efectos benéficos para la salud humana por ser fuentes naturales de minerales, vitaminas, fibra alimentaria y agua; además, tienen un aporte calórico significativamente menor al de otros alimentos. Se reconoce que una alimentación saludable permite un óptimo desempeño de las actividades diarias de los individuos y contribuye al crecimiento y desarrollo adecuado de los niños. La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la Organización Mundial de la Salud (OMS) recomiendan una ingesta diaria de 400 g de frutas y hortalizas por día por persona (Parzanese, 2012). En nuestro país el consumo de estos vegetales corresponde a la mitad de lo sugerido; la razón de esto es, principalmente, el tiempo de elaboración prolongado que requieren estos alimentos para su preparación y cocción. Como respuesta a la demanda de los consumidores de productos saludables, frescos y fáciles de preparar, junto con los cambios en el estilo de vida del consumidor, surgen las frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Ramos y col., 2013).

## Vegetales mínimamente procesados

Los vegetales frescos cortados, o también llamados mínimamente procesados (VMP) o vegetales IV Gama, consisten en frutas y hortalizas preparadas y manipuladas mediante operaciones simples como el lavado, pelado, cortado, rallado, picado, rebanado, etc., por lo cual se comercializan como productos para consumo directo o para preparaciones culinarias rápidas. Estas características hacen que el tiempo de elaboración no sea un obstáculo para incorporar o aumentar la proporción de vegetales en la dieta. Los VMP reciben además una

higienización y ocasionalmente un tratamiento con preservantes antes de ser envasados para su distribución y comercialización bajo refrigeración.

En la última década, el consumo de VMP ha crecido rápidamente, debido en gran parte a los nuevos hábitos de compra familiares y a una mayor conciencia sobre la importancia de consumir productos sanos, frescos, bajos en calorías, sin aditivos e higiénicamente seguros, unido al ahorro de tiempo empleado en la preparación doméstica (Escalona y Luchsinger, 2008; Rodríguez y col., 2015).

Se debe mencionar también que el consumo de frutas y hortalizas es importante por los aportes de fitoquímicos y compuestos antioxidantes que son beneficiosos para la salud humana (Lemoine y col., 2010). Estos compuestos, tales como carotenoides, flavonoides y otros compuestos fenólicos, fitoesteroles, monoterpénos, etc., actúan como agentes protectores frente a diferentes tipos de enfermedades debido a sus propiedades antioxidantes que inactivan las especies reactivas de oxígeno y radicales libres (Gutiérrez y col., 2018). De hecho, se conoce que la mayoría de las enfermedades, entre las que se pueden mencionar el cáncer, enfermedades del corazón, enfermedades cardiovasculares, la enfermedad de Alzheimer, afecciones inflamatorias, el reumatismo, etc., que pueden provocar la muerte y/o deteriorar la calidad de vida de los organismos vivos, son provocadas por radicales libres (Houstis y col., 2006).

### **Vida útil de los VMP**

Las operaciones de procesamiento necesarias para la preparación de vegetales mínimamente procesados provocan cambios degradativos que limitan su tiempo de comercialización o vida útil, lo que los hace más perecederos que las materias

primas originales (Oliveira y col., 2015; Teoh y col., 2016). Estas lesiones físicas ocasionadas durante el procesamiento estimulan la intensidad respiratoria (emisión de  $\text{CO}_2$ , consumo de  $\text{O}_2$ , con producción de calor), la producción de etileno y la pérdida de nutrientes de las células, por lo que las vegetales frescos cortados son más susceptibles al pardeamiento y a las contaminaciones microbianas en comparación con los productos enteros (Huang y col., 2017). Además, los compuestos potencialmente bioactivos presentes en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas también pueden verse alterados si las condiciones de manipulación y procesamiento son inadecuadas durante la poscosecha (Gil y col., 2007). Por estas razones, la vida útil de los VMP tiende a ser muy corta (generalmente de 4 a 7 días); entonces, una extensión de unos días podría representar una notable ventaja para las empresas que operan en este sector (Manzocco y col., 2011).

### **Tecnologías para extender la vida útil de los VMP**

En el área de conservación de vegetales, es muy importante desarrollar métodos efectivos para prolongar el estado de fresco, como así también de preservar o incluso aumentar el contenido y la actividad de los compuestos antioxidantes de los productos frescos.

Las principales técnicas de conservación aplicadas para prevenir o retrasar el deterioro son el almacenamiento bajo refrigeración (con temperaturas que varían según el vegetal entre 1 y 12 °C) y el envasado en atmósfera modificada, combinado con tratamientos químicos (soluciones antimicrobianas, acidulantes, antioxidantes, etc.) y la aplicación de tratamientos térmicos moderados (Leistner y Gould, 2002; Artés y col., 2009). Estas tecnologías deben ser lo suficientemente leves como para no poner en peligro los atributos de fresco del pro-

ducto (Manzocco y col., 2011).

## Almacenamiento refrigerado

El manejo de la temperatura es la herramienta más efectiva para extender la vida poscosecha de los productos hortofrutícolas frescos, debido a que es el principal factor que influye en la velocidad de deterioro (Kader, 2002). Es altamente eficiente pero también tiene una gran demanda de energía (Ma y col., 2017). Al disminuir la temperatura, disminuye la intensidad respiratoria y la actividad enzimática, lo que se traduce en una reducción de la maduración, manutención de nutrientes, constituyentes antioxidantes y firmeza, disminución de la pérdida de agua y también la inhibición del crecimiento de microorganismos (Gil y col., 2015).

Sin embargo, algunos productos frutihortícolas, tales como los de origen tropical o subtropical, son sensibles al daño por frío (cuando se almacenan a temperaturas inferiores a 9-10 °C), por eso este factor debe tenerse en cuenta durante su preparación como VMP. Sin embargo, en los tiempos de vida útil que se manejan para estos productos (alrededor de los 7 días), los daños por frío muchas veces no llegan a manifestarse.

En el caso de las hortalizas de hoja, en general, soportan muy bien las bajas temperaturas de almacenamiento (de 1 a 3 °C) (Cantwell, 2001).

El procesamiento de vegetales frescos cortados tiene como principal objetivo conservar el producto por un período de 5 a 7 días a 4 °C, al tiempo que garantizan la seguridad alimentaria y mantienen la calidad nutricional y sensorial (Cliffe-Byrnes y O'Beirne, 2002).



## Envasado en atmósfera modificada

El envasado en atmósfera modificada (AM) es la tecnología de envasado más utilizada en productos de IV Gama y se basa en una disminución de la concentración de  $O_2$  y un aumento de  $CO_2$  (Gutiérrez y col., 2016). Según la forma en que se consiga la modificación de la atmósfera, se distinguen las AM pasivas y activas. Las AM pasivas (AMP) se basan en la capacidad de determinadas películas plásticas con una permeabilidad selectiva al paso de los gases ( $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $N_2$ ,  $C_2H_4$ ,  $H_2O$ , etc.) de regular adecuadamente los intercambios gaseosos entre el tejido vegetal y el ambiente que lo rodea; esto genera una atmósfera de equilibrio favorable para su supervivencia, en relación con la superficie del envase y el peso del producto (Escalona y col., 2008). Sin embargo, esta atmósfera de equilibrio se puede acelerar creando un vacío parcial e inyectando en el envase  $N_2$  o una mezcla gaseosa deseada para sustituir el aire del espacio de cabeza antes del cierre hermético; esta técnica se denomina AM activas (AMA) y, por lo tanto, se ha recomendado para productos mínimamente procesados (Banda y col., 2015).

Normalmente en un sistema de AM se mantiene la concentración de oxígeno a niveles muy bajos (1 – 5 %) con el fin de reducir la tasa de respiración del vegetal y extender su vida poscosecha. Concentraciones menores al 8 % pueden reducir la producción de etileno y, en consecuencia, los procesos de maduración. Sin embargo, niveles muy bajos de oxígeno (< 1 %) pueden inducir en el vegetal procesos anaeróbicos y generar productos de fermentación (etanol, acetaldehído y lactato), lo que da como resultado la generación de olores y sabores no característicos, muerte del tejido y crecimiento de microorganismos patógenos anaeróbicos (Gutiérrez y col., 2015; Torales, 2016).

Por ejemplo, Artés-Hernández y col. (2009) informaron que la eficacia del envasado con AMP en hojas de espinaca míni-

mamente procesadas se basa en una atmósfera de 3-5 % de  $O_2$  y 8-10 % de  $CO_2$ , la cual se alcanza rápidamente durante el almacenamiento a una temperatura inferior a 5 °C.

### Soluciones desinfectantes

El hipoclorito de sodio ( $NaClO$ ) es un desinfectante con potentes propiedades oxidantes y es el más utilizado por la industria alimentaria para desinfectar tanto los productos como los equipos del proceso y también para reducir la carga microbiana del agua utilizada en diferentes operaciones (Artés y col., 2009). Aunque el cloro es el desinfectante más utilizado, es inactivado por el material orgánico y durante la producción también puede conducir a la liberación de vapores de cloro y a la formación de subproductos clorados como los trihalometanos y las cloraminas, con posibles efectos adversos para la salud (Parish y col., 2003; Rico y col., 2007). Por lo tanto, se deben estudiar agentes desinfectantes alternativos tales como el ozono (Garmendia y Vero, 2006). Es así que, en los últimos años, los procesadores de alimentos han buscado alternativas para las etapas de desinfección.

### Ozono

La aplicación de ozono ( $O_3$ ), ya sea en forma de gas o como solución, se considera una tecnología sanitizante alternativa al hipoclorito de sodio, ya que presenta la ventaja de no causar la formación de trihalometanos carcinogénicos (Fawell, 2000; Ali y col., 2014) y no modifica considerablemente las propiedades sensoriales del producto alimenticio (Ölmez y Akbas, 2009). Otra ventaja significativa del ozono frente al cloro es que no deja residuos químicos y, por lo tanto, tiene un menor impacto

ambiental después del tratamiento o eliminación de los residuos de lavado (Ölmez y Kretzschmar, 2009; Alexopoulos y col., 2013).

Algunos autores tales como Singh y col. (2002) informaron que tratamientos de lavado con agua ozonizada con dosis de 9,7 o 16,5 ppm mostraron una reducción significativa del recuento de *E. coli* O157: H7 (1,41 a 1,8 log) en lechuga y zanahoria baby después de 10 min de lavado. Karaca y Velioglu (2014) informaron que perejil tratado con O<sub>3</sub> gaseoso a una concentración de 0,95 ppm por 20 min, presentó una reducción significativa de los recuentos de *E. coli* en 1,31 log UFC/g. Anteriormente, se reportaron otros estudios en que el O<sub>3</sub> gaseoso fue efectivo en la reducción de *E. coli* en productos tales como espinaca (Klockow y Keener, 2009), arándanos (Bialka y Demirci, 2007) e higos secos (Akbas y Ozdemir, 2008).

También se ha informado que los tratamientos con ozono pueden tener efectos benéficos desde el punto de vista del incremento de la concentración de sustancias con propiedades bioactivas en algunos vegetales. Por ejemplo, el tratamiento con 8 ppm de O<sub>3</sub> aumentó hasta tres veces el nivel de resveratrol en uva de mesa 'Napoleon' (Artés-Hernández y col., 2003) y también las aplicaciones continuas de dosis bajas de O<sub>3</sub> parecen aumentar el contenido total de polifenoles durante el almacenamiento a largo plazo en uvas de mesa sin semilla (Artés-Hernández y col., 2007).

### **Radiación ultravioleta de onda corta (UV-C)**

La radiación UV-C también se está utilizando para extender la vida útil de varias frutas y hortalizas frescas (Gutiérrez y col., 2017). El tratamiento con luz UV-C, que aprovecha la radiación del espectro electromagnético de 200 a 280 nm, es un método germicida de superficie potente, fácil de usar y caracteriza-

do por costos relativamente bajos de equipos, energía y mantenimiento. Además, no deja residuos, no tiene restricciones legales y es letal contra una gran cantidad de microorganismos (Manzocco y col., 2011).

La intensidad de la radiación UV se expresa como ( $W\ m^{-2}$ ), mientras que la dosis es una función de la intensidad de la radiación y del tiempo de exposición y se puede expresar como  $J\ m^{-2}$  o  $kJ\ m^{-2}$  (Gutiérrez y col., 2017).

Un punto importante a considerar es que la eficacia del tratamiento con UV-C depende de la irradiación incidente, determinada por la estructura y la topografía de la superficie del producto (Gardner y Shama, 2000).

Algunos investigadores han realizado estudios en diferentes vegetales sobre la influencia de la radiación UV-C en la calidad sensorial, compuestos bioactivos y desarrollo microbiano en hortalizas tales como brócoli recién cortado (Lemoine y col., 2010; Martínez-Hernández y col., 2011), espinaca (Artés-Hernández y col., 2009) y rúcula (Gutiérrez y col., 2015; 2016; 2018). En este sentido, varios de ellos han demostrado que la aplicación de luz UV-C mejoró el contenido total de fenoles y la capacidad antioxidante de varias frutas y verduras a lo largo del almacenamiento (Erkan y col., 2008; Perkins-Veazie y col., 2008). Esto concuerda con Wang y col. (2009), quienes reportaron un aumento de compuestos fenólicos en arándanos tratados con UV-C.

Algunos estudios han sugerido que la radiación UV-C podría alterar la permeabilidad celular de los vegetales pues causa la fuga de electrolitos, aminoácidos e hidratos de carbono que pueden estimular el crecimiento microbiano. Además, podría tener un impacto en la calidad sensorial. El punto crucial resulta en encontrar una dosis segura que pueda perjudicar en gran medida el crecimiento microbiano sin dañar el producto (Ben-Yehoshua y Mercier, 2005).

## Combinación de tratamientos

Entre las distintas áreas de estudio relacionadas con las tecnologías de preservación de alimentos, utilizadas para lograr la mejora de su calidad, la aplicación combinada de diferentes tecnologías o tecnologías de barreras cobra importancia para la elaboración de vegetales mínimamente procesados.

Este concepto, denominado inicialmente por Leistner y Gould (2000) como "efecto barrera", fue aplicado a la seguridad microbiológica para hacer referencia a cada factor de estrés que tienen que superar los microorganismos para su supervivencia. De este modo, para evitar el deterioro del producto, los microorganismos presentes en el alimento no deben ser capaces de sobrepasar estas barreras durante el almacenamiento.

Sin embargo, la aplicación de tecnologías combinadas se refiere no solo a calidad microbiológica, sino también a calidad sensorial, nutricional y comercial. Es decir, las tecnologías de barrera buscan mejorar la calidad global del producto a través de la combinación inteligente de distintos obstáculos (Leistner y Gould, 2000).

De esta forma, la combinación de dos o más tratamientos de desinfección puede tener un efecto sinérgico que permite reducir la dosis de los desinfectantes si se compara a su empleo por separado (Aguayo y col., 2007).

Cada producto puede requerir una combinación diferente de obstáculos, dependiendo de una serie de factores, incluyendo la carga microbiana inicial, las características del producto y la vida útil que se pretende lograr. Por ejemplo, Xu y col. (2016) informaron que el tratamiento combinado de  $\text{ClO}_2$  acuoso (2 mg/L) combinado con la radiación UV-C (4 kJ/m<sup>2</sup>) es una tecnología eficaz para mejorar la calidad de vida útil y extender esa vida útil de los arándanos después de la cosecha.

### **Experiencias en la aplicación de tecnologías combinadas para la conservación de rúcula cortada mínimamente procesada**

En el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos - FAyA - UNSE, el grupo de Conservación de Vegetales estudió el efecto de la aplicación de diferentes tecnologías solas y combinadas para la conservación de rúcula mínimamente procesada. Se estudió la aplicación de los siguientes tratamientos: almacenamiento refrigerado; envasado en AMP asociado con refrigeración; combinación de UV-C con AMP y refrigeración; combinación de UV-C y ozono gaseoso con AMP y refrigeración. Se evaluó el efecto de los distintos tratamientos mencionados sobre la calidad sensorial y microbiológica, así como sobre las propiedades bioactivas de hojas cortadas de rúcula (*Eruca sativa* Mill.) mínimamente procesadas.

El principal objetivo de estas experiencias fue determinar si la aplicación de tecnologías combinadas tiene un efecto aditivo o sinérgico en la prolongación de la vida útil de rúcula cortada IV gama. De esta forma, sería factible ofrecer al sector industrial tecnologías útiles que podrían ser utilizadas como alternativas a la desinfección con hipoclorito de sodio, porque presentan las ventajas de tener menos riesgo para los consumidores y ser más respetuosas con el medio ambiente. Asimismo, se podría aumentar el valor agregado de vegetales, pues se mejora su conservación y se generan nuevas formas de comercialización.

Por otra parte, la rúcula es conocida por su agradable sabor amargo y, como otras verduras crucíferas, contiene una serie de fitonutrientes que promueven la salud, tales como carotenoides, vitaminas C, flavonoides y glucosinolatos, así como potasio y azufre (Kawashima y Soares, 2003; Bennett y col., 2004; Nunes y col., 2013). Esta hortaliza es ampliamente consumida como ensalada fresca o como parte de ensaladas

mixtas en los países mediterráneos y también en Argentina (Ahmed y col., 2013). El color es la característica cualitativa más importante de las hojas de rúcula, ya que las hojas con un color verde uniforme intenso son muy atractivas. Cualquier alteración de su color verde podría ser un factor limitante para su comerciabilidad.

El principal problema de esta hortaliza en la etapa poscosecha es su rápida senescencia, la cual se manifiesta a través del amarilleamiento de sus hojas (como el resultado de la degradación de la clorofila) y el marchitamiento (debido a la pérdida de agua que modifica la turgencia) durante el almacenamiento (Koukounaras y col. 2007).

En general, en el NOA, la rúcula se comercializa principalmente en atados sin ningún tratamiento poscosecha, y presenta una vida útil de 24 h a temperatura ambiente.

El almacenamiento refrigerado de esta hortaliza a temperaturas de 3 a 5 °C (sin recubrimiento con algún film plástico) puede conservarse durante solo 3 días, ya que, posteriormente a este lapso, la calidad se deteriora de manera significativa debido, principalmente, a la pérdida de turgencia y amarilleamiento de sus hojas.

### **AMP asociado con refrigeración**

Se evaluó el efecto de diferentes atmósferas modificadas pasivas logradas con el recubrimiento de la rúcula con películas plásticas, tales como polipropileno (PP) de 35  $\mu\text{m}$ , policloruro de vinilo (PVC) de 15  $\mu\text{m}$ , polietileno de baja densidad y polietileno de alta densidad de 30  $\mu\text{m}$ , durante el almacenamiento a 5 °C; se determinó que el envasado con PP fue el más adecuado para la retención de la calidad sensorial durante 15 días (Torales, 2016).

### **Combinación de tratamientos con UV-C asociados con AMP y refrigeración para conservar rúcula cortada mínimamente procesada**

Se realizaron diferentes ensayos experimentales con el fin de evaluar el efecto combinado de distintas dosis de radiación UV-C y envasado con atmósfera modificada pasiva en la calidad poscosecha de rúcula cortada durante el almacenamiento a 5 °C, con el objetivo de seleccionar aquellos tratamientos que permitan prolongar su vida útil.

Las hojas de rúcula recién cosechadas se transportaron al laboratorio, donde fueron mínimamente procesadas a 16 °C, cuidando las buenas prácticas de elaboración en todo momento. Las hojas que presentaban defectos como daños físicos, amarilleamiento o deshidratación fueron desechadas. Posteriormente, las hojas seleccionadas fueron lavadas con agua potable durante 1 min y drenadas sobre una malla de acero inoxidable. Las hojas se cortaron en tiras de 20 mm y luego se lavaron nuevamente con agua durante 2 min a 5 °C. El exceso de agua de las hojas cortadas se eliminó usando una centrifuga manual y posteriormente se aplicaron los siguientes tratamientos UV-C: 7,5; 15 y 30 kJ/m<sup>2</sup>. Para ello, el producto fue distribuido en forma homogénea y en una sola capa debajo de lámparas germicidas de UV y fue irradiado hasta alcanzar las diferentes dosis estudiadas. Posteriormente, las hojas cortadas se envasaron en bolsas selladas de polipropileno (PP) de 35 µm de espesor. Como control, se almacenaron muestras sin irradiar y envasadas con el mismo film. Todas las bandejas se conservaron por 12 días a 5 °C.

Las etapas del proceso mencionadas se resumen en la Figura 1.



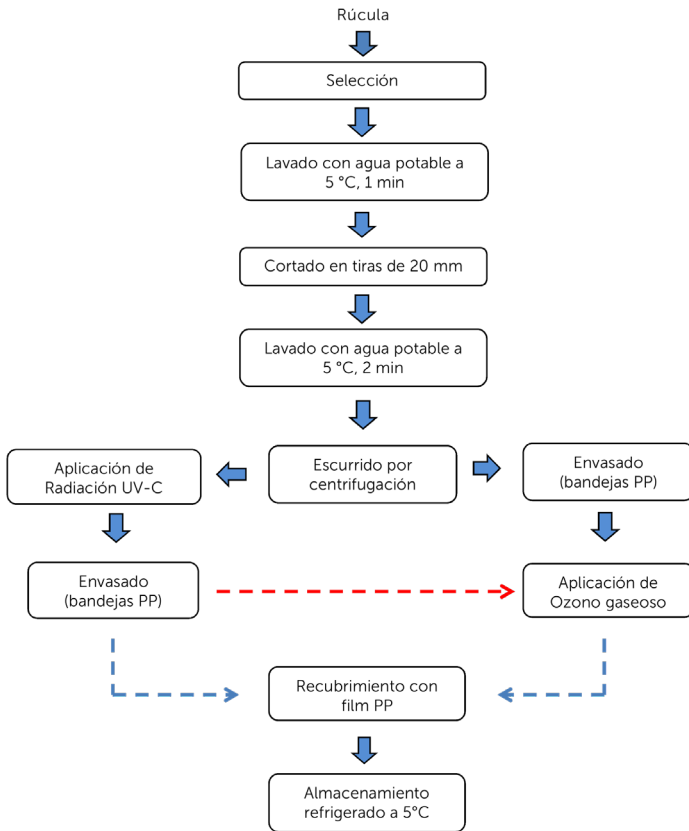


Figura 1. Etapas del proceso de elaboración de rúcula (cortada en tiras) mínimamente procesadas. En línea punteada roja se representa la combinación de los 2 tratamientos, radiación UV-C y ozono gaseoso.

Periódicamente se realizaron evaluaciones sensoriales (apariencia general, color, olor y grado de amarilleamiento) con un panel entrenado y análisis microbiológicos (recuento de aereo-

bios mesófilos y psicrófilos totales, enterobacterias y mohos y levaduras). También se estudiaron las variaciones del color ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), de la composición de la atmósfera interna de los envases, del contenido de fenoles totales, clorofila y carotenoides totales.

### **Equipamiento empleado para aplicar radiación UV-C**

La cámara utilizada para el tratamiento de las hojas enteras con radiación UV-C estuvo formada por un recinto de acero inoxidable reflectante de 1,3 x 0,5 x 0,7 m, equipada con 12 lámparas germicidas sin filtros (254,7 nm, TUV 36W / G36 T8, Philips), 6 en la parte superior y 6 en la parte inferior. La cámara estuvo provista de una malla de acero inoxidable para soportar las muestras sin bloquear significativamente la incidencia de la radiación UV-C; esta se ubicó suspendida horizontalmente en el centro del espacio entre las lámparas a una distancia de 0,21 m de ellas (Figura 2). La cámara de radiación se colocó en el interior de la cámara de procesamiento a 10 °C para la aplicación de los tratamientos.

Con el fin de determinar la intensidad de la radiación UV-C de las lámparas, se utilizó un radiómetro digital (Cole-Parmer Instrument Company). La intensidad de la radiación UV-C aplicada se calculó como una media de 15 lecturas en cada lado de la red, y se constató la inexistencia de diferencias significativas en ambos lados de la malla, lo que indica, de esta forma, que no hubo interferencia entre la luz UV-C y la malla de acero inoxidable.

La intensidad de la luz UV-C se mantuvo constante y las dosis aplicadas (7,5; 15 y 30 kJ/ m<sup>2</sup>) se variaron alterando el tiempo de exposición, usando una distancia fija entre el producto y las lámparas. En un lado de la cámara de acero fue colocado un ventilador para evitar un aumento de temperatura

de las lámparas. Las hojas de rúcula fueron dispuestas cuidadosamente en una sola capa sobre la malla para el tratamiento con las diferentes dosis.



Figura 2. Imagen de la cámara de radiación UV-C (Equipo de radiación del CEPOC-UCI). Extraído de Gutiérrez (2015).

De acuerdo con los atributos de calidad sensorial, las muestras control y las tratadas con 7.5 y 15 kJ/m<sup>2</sup> se conservaron en buenas condiciones organolépticas por al menos 12 días, mientras que las hojas tratadas con 30 kJ/m<sup>2</sup> presentaron una vida útil sensorial menor a 8 días, debido a la aparición de olores no característicos (Figura 3).

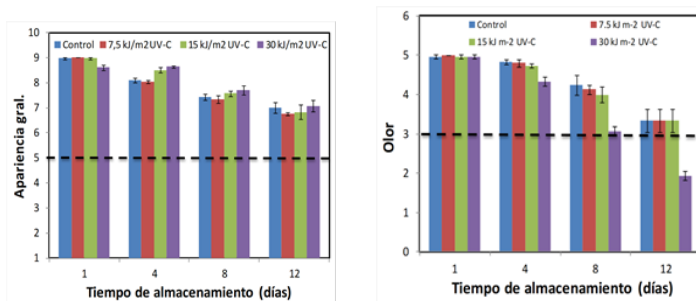


Figura 3. Cambios en apariencia general (A) y olor (B) en rúcula cortada tratada con diferentes dosis de UV-C y almacenadas a 5 °C con AMP.

(Apariencia general: Puntaje de 9 = Excelente, 5= Bueno (valor límite aceptado para la comercialización) y 1= Muy malo; Olor: Puntaje de 5 = olor característico, 3= sin olores extraños (valor límite aceptado para la comercialización) y 1= olores no característicos intensos).

Por otra parte, los tratamientos con UV-C fueron efectivos en el retardo del crecimiento de la microflora natural, cuyo recuento había sido reducido inicialmente en aproximadamente 1,3 log UFC/g, y mantuvieron la calidad microbiológica por al menos 8 días. Por lo tanto, estos tratamientos prolongaron la vida útil del producto hasta 3 días respecto de las muestras sin tratar (Figura 4).

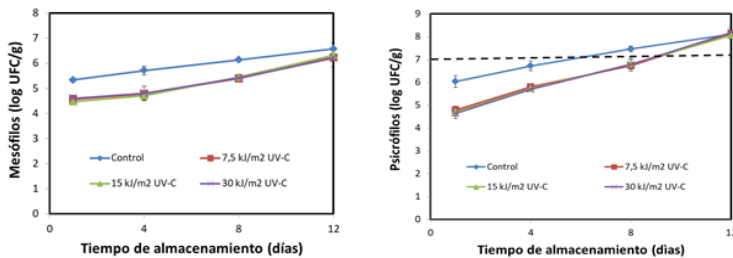


Figura 4. Cambios en los recuentos de mesófilos (A) y psicrófilos (B) en rúcula cortada tratadas con diferentes dosis de UV-C y almacenadas a 5 °C con AMP.

Asimismo, las muestras con UV-C presentaron una tasa significativamente menor de degradación de clorofila, lo que retardó el amarilleamiento. Además, se observó que el perfil de compuestos con propiedades bioactivas no fue afectado a lo largo de la conservación.

En la figura 5 se presentan imágenes de las hojas de rúcula cortadas en las bandejas almacenadas en AMP (control) y las tratadas con la dosis de 15 kJ/m<sup>2</sup>, luego de 8 días de almace-

namiento a 5 °C.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se podría afirmar que la aplicación de 7,5 y de 15 kJ UV-C/m<sup>2</sup> podría ser una alternativa como agente sanitizante para ser implementada en el proceso de elaboración de rúcula mínimamente procesada, a fin de conservar su calidad global poscosecha.

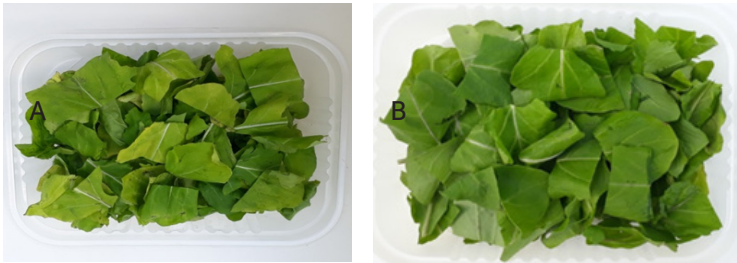


Figura 5. Imágenes de bandejas con hojas de rúcula cortadas al día 8 a 5 °C. A-Almacenadas con AMP. B-Tratadas con la dosis de UV-C de 15 kJ/m<sup>2</sup>.

### **Combinación de UV-C y ozono gaseoso con AMP y refrigeración para conservar rúcula cortada mínimamente procesada**

Se estudió el efecto combinado de UV-C y O<sub>3</sub> gaseoso sobre la calidad sensorial, compuestos bioactivos y el recuento inicial de la flora nativa microbiana y su evolución, durante el almacenamiento refrigerado de rúcula cortada, con el fin de evaluar si existe un efecto aditivo o sinérgico en la prolongación de su vida útil.

Para estas experiencias, las hojas de rúcula recién cosechadas fueron seleccionadas, lavadas con agua potable, escurridas y cortadas en tiras de 20 mm. Posteriormente, fueron tratadas con O<sub>3</sub> con la concentración de 2,5 ppm por 10 min (determinada como tratamiento óptimo, de acuerdo a Gutiérrez, 2015),

con UV-C con la dosis de  $15 \text{ kJ/m}^2$  y la combinación de ambos tratamientos de UV-C y  $\text{O}_3$ . Todas las muestras se envasaron en bolsas de PP de  $35 \mu\text{m}$  y se almacenaron durante 12 días a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$  (Figura 1). Muestras sin tratar fueron usadas como control. Periódicamente, durante el almacenamiento, se registró la evolución de los mismos parámetros que se mencionaron anteriormente: evaluaciones sensoriales (apariencia general, color y olor) con panel entrenado y análisis microbiológicos (recuento de aerobios mesófilos y psicrofilos totales, enterobacterias y mohos y levaduras). También se estudió la evolución del contenido de clorofila y carotenoides totales, fenoles totales y capacidad antioxidante.

### **Equipamiento empleado para los tratamientos con ozono gaseoso**

Para realizar los tratamientos con  $\text{O}_3$  se utilizó una cámara hermética de plástico reforzado de  $0,6 \times 0,4 \times 0,2 \text{ m}$ , provista de dos orificios, uno por donde se introdujo el ozono a través de un tubo desde el generador y el otro por medio del cual se conectó a una válvula para eliminar el ozono. Este gas fue producido por un generador de descarga tipo corona (Generador de Ozono Bio3 Modelo: TDZ-1, Uruguay) con una capacidad de producción de  $1 \text{ g/h}$  de ozono, que usa el aire como fuente de oxígeno.

El gas de alimentación fue humidificado, haciendo pasar la corriente de ozono a través de la parte superior de una botella de lavado con agua destilada, antes de introducirse en la cámara. Luego de finalizado el tratamiento y antes de abrir la cámara, se eliminó el exceso de ozono haciendo circular una corriente de aire para arrastrarlo. Previamente a la salida al exterior, se puso en contacto esta corriente con una solución de yoduro de potasio al 2 % en una botella de lavado. La

cámara de ozonificación se mantuvo a 20 °C y 85 %HR, los que fueron controlados con la ayuda de sensores de temperatura/humedad (Modelo U14-001, Data Logger, Onset Computer Corporation, EE.UU.). Para el tratamiento, las bandejas individuales de polipropileno que contenían la rúcula cortada se acomodaron dentro de la cámara y se pusieron en contacto con el ozono. La concentración de ozono en el interior de la cámara fue medida con un analizador de O<sub>3</sub> gaseoso (Gas Alert Extreme O<sub>3</sub> - BW Technology, Honeywell, Canadá). Una vez que se alcanzó la concentración deseada, se detuvo el flujo de gas de ozono y todas las muestras se mantuvieron dentro de la cámara por 10 min.

De acuerdo con las experiencias realizadas y los datos obtenidos, se determinó que la aplicación individual de los tratamientos con UV-C y O<sub>3</sub> y su combinación mantuvieron los atributos sensoriales en valores superiores al establecido para su comercialización hasta los 12 días y no modificaron significativamente la concentración de clorofila total ni de compuestos fenólicos así como tampoco de la capacidad antioxidante, que presentaron valores en el rango entre 70,6 a 72,7 mg/100 g tejido fresco, 1,8 a 1,9 mg Eq. ácido clorogénico/g tejido fresco y 2,4 a 2,5 mg Eq. Trolox /g tejido fresco respectivamente, en la rúcula mínimamente procesada.

Estos tratamientos individuales y combinados controlaron mejor el crecimiento de los microorganismos mesófilos y psicrófilos (factor limitante de la conservación) y de hongos y levaduras respecto de las muestras no tratadas hasta los 9 días de almacenamiento a 5 °C. Cabe destacar que no se observaron diferencias significativas en el recuento de aerobios psicrófilos entre los tratamientos individuales de UV-C y ozono y su combinación (Fig. 6).

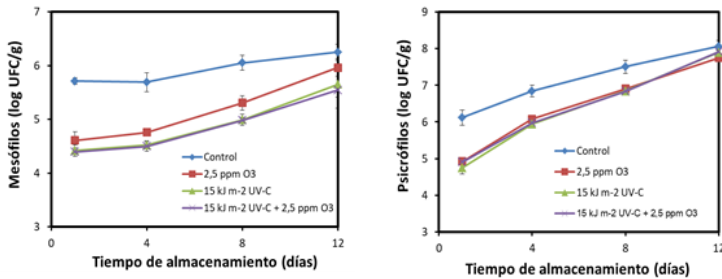


Figura 6. Cambios en los recuentos de mesófilos (A) y psicrófilos (B) en rúcula cortada tratadas con O<sub>3</sub> y UV-C y su combinación durante 12 días a 5 °C.

De acuerdo con lo mencionado, la aplicación de estos tratamientos podría ser una herramienta útil para la desinfección de hojas de rúcula cortadas, pues se mantiene su calidad general y se prolonga su vida útil. Sin embargo, la aplicación del tratamiento combinado de UV-C y O<sub>3</sub> no produjo un efecto sinérgico o aditivo con respecto a los tratamientos aplicados en forma individual.

Como ya se ha señalado previamente, el éxito de la aplicación de cualquier tecnología poscosecha, y en este caso particular de la aplicación de UV-C y ozono, depende de la selección de la dosis o concentración que retrase el desarrollo microbiano sin afectar significativamente la calidad del producto vegetal. Por lo tanto, los tratamientos 15 kJ UV-C/m<sup>2</sup> o 2.5 ppm O<sub>3</sub> podrían utilizarse con éxito para la *sanitización* de rúcula a nivel de productores de vegetales mínimamente procesados, puesto que presenta las ventajas de tener menos riesgo para los consumidores y ser más amigables con el medio ambiente.

La elección de la tecnología a utilizar dependerá del tamaño de producción, medios e infraestructura disponibles, así como de los costos de instalación y de operación, para lo que habría



que hacer un estudio en particular para cada tratamiento a fin de determinar el más conveniente.

Por lo tanto, de los tratamientos estudiados y teniendo en cuenta la facilidad de aplicación y los tiempos de procesamiento a nivel industrial, sería apropiado aplicar un tratamiento con 15 kJ UV-C/m<sup>2</sup> para conservar rúcula cortada mínima procesada durante 9 días a 5 °C.

## Conclusiones

La elaboración de vegetales mínimamente procesados se encuentra en expansión a nivel mundial y también en Argentina, dada su mejor rentabilidad y a la facilidad de su consumo y/o utilización. Es por ello que resulta necesario contar con tecnologías amigables con el medio ambiente que permitan extender la vida útil de estos vegetales y cumplir con los más altos estándares de calidad y seguridad.

En ese sentido, la aplicación de radiación UV-C (15 kJ/m<sup>2</sup>) y la de ozono gaseoso (2,5 ppm) podrían ser utilizadas como alternativas a la desinfección con hipoclorito de sodio de hojas de rúcula fresca cortada, pues permiten mantener su calidad general y prolongar su vida útil y, de esta manera, se minimiza el consumo de agua en la industria alimentaria. Sin embargo, el tratamiento combinado de UV-C y O<sub>3</sub> no presentó un efecto benéfico adicional a los tratamientos individuales en la disminución del desarrollo microbiano.

Es importante remarcar que es imprescindible determinar la dosis de radiación UV-C o concentración de ozono más conveniente a aplicar en cada caso particular, y no se puede extrapolar directamente para otro producto vegetal.

## Bibliografía

- Aguayo Giménez, Encarnación; Escalona Contreras, Víctor; Gómez, Perla; Artés Hernández Francisco y Artés Calero, Francisco (2007). "Técnicas emergentes y sostenibles para la desinfección de frutas y hortalizas". *Phytoma España: La revista profesional de sanidad vegetal*. (189), pp. 138-142.
- Ahmed, Jasim, Al-Salman, Fatimah, Almusallam y Abdulwahab. S. (2013). "Effect of blanching on thermal color degradation kinetics and rheological behavior of rocket (*Eruca sativa*) puree". *Journal of Food Engineering*. (119), pp. 660-667.
- Akbas, Meltem y Ozdemir, Murat (2008). "Application of gaseous ozone to control populations of *Escherichia coli*, *Bacillus cereus* and *Bacillus cereus* spores in dried figs". *Food Microbiol.* (25), pp. 386-391.
- Alexopoulos, A.; Plessas, S.; Ceciu, S.; Lazar, V.; Mantzourani, I.; Voidarou, C.; Stavropoulou, E. y Bezirtzoglou, E. (2013). "Evaluation of ozone efficacy on the reduction of microbial population of fresh cut lettuce (*Lactuca sativa*) and green bell pepper (*Capsicum annum*)". *Food Control*. (30), pp. 491-496.
- Ali, Asgar; Ong, Mei y Forney, Chales (2014). "Effect of ozone pre-conditioning on quality and antioxidant capacity of papaya fruit during ambient storage". *Food chemistry*. (142), pp. 19-26.
- Artés, Francisco; Gómez, Perla; Aguayo, Encarnación; Escalona, Víctor y Artés-Hernández, Francisco (2009). "Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities". *Postharvest Biology and Technology*. (51), pp. 287-296.
- Artés-Hernández, Francisco; Escalona, Víctor; Robles, Paula, Martínez-Hernández, Ginés y Artés, Francisco (2009). "Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves". *J. Sci. Food Agric.* (89), pp. 414-421.
- Artés-Hernández, Francisco; Aguayo, Encarnación; Artés, Francisco y Tomás-Barberán, Francisco (2007). "Enriched ozone

- atmosphere enhances bioactive phenolics in seedless table grapes after prolonged shelf life". *J. Sci. Food Agric.* (87), pp. 824–831.
- Artés-Hernández, F., Artés, F. y Tomás-Barberán, F.A. (2003). "Quality and enhancement of bioactive phenolics in cv. Napoleon table grapes exposed to different gaseous treatments". *J. Agric. Food Chem.* (51), pp. 5290–5295.
- Banda, Kalenga; Caleb, Oluwafemi; Jacobs, Karin y Opara, Umezuruike (2015). "Effect of active-modified atmosphere packaging on the respiration rate and quality of pomegranate arils (cv. Wonderful)". *Postharvest Biology and Technology.* (109), pp. 97-105.
- Ben-Yehoshua, Shimshon y Mercier, J. (2005). "UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables". En: Ben-Yehoshua, Shimshon. (Ed.), *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality.* (pp. 265-299). Boca Raton, Florida, CRC Taylor & Francis.
- Bennett, Richard; Mellon, Fred y Kroon, Paul (2004). "Screening crucifer seeds as sources of specific intact glucosinolates using ion-pair high-performance liquid chromatography negative ion electrospray mass spectrometry". *J. Agric. Food Chem.* (52), pp. 428–438.
- Bialka, Karen y Demirci, Ana (2007). "Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on blueberries using ozone and pulsed UV-light". *J. Food Sci.* (72), pp. 391–396.
- Bhesh Bhandari, Ma; Zhang, Min y Gao, Zhongxue (2017). "Recent developments in novel shelf life extension technologies of fresh-cut fruits and vegetables". *Trends in Food Science & Technology.* (64), pp. 23-38.
- Boonkorn, P., Gemma, H., Sugaya, S., Setha, S., Uthaibutra, J. y Whangchai, K. (2012). "Impact of high-dose, short periods of ozone exposure on green mold and antioxidant enzyme activity of tangerine fruit". *Postharvest Biol. Technol.* (67), pp. 25–28.

- Cantwell, Marita, Hong, G. y Suslow, Trevor (2001). "Heat treatments control extension growth and enhance microbial disinfection of minimally processed green onions". *HortScience*. 36(4), pp. 732-737.
- Cliffe-Byrnes, Vincent y O'Beirne, Daniel (2002). "Effects of chlorine treatment and packaging on the quality and shelf-life of modified atmosphere (MA) packaged coleslaw mix". *7th Karlsruhe Nutrition Congress on Food Safety*. (pp. 707-716). Germany Elsevier Sci Ltd.
- Erkan, Mustafa; Wang, Shiow y Wang, Chien (2008). "Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit". *Postharvest Biol. Technol.* (48), pp. 163-171.
- Escalona, Víctor y Luchsinger, Luis (2008). "Una revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco". *Revista Aconex* (99) 23-28.
- Escalona, Víctor; Luchsinger, Luis y Lizana, Antonio (2008). "Efecto del envasado en atmósfera modificada sobre la calidad y la conservación de frutas y hortalizas". *Revista Aconex*. (98), pp.16-24.
- Fawell, J. (2000). "Risk assessment case study e chloroform and related substances". *Food and Chemical Toxicology*. (38), S91-S95.
- Gardner, Diana y Shama, G. (2000). "Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces". *J. Food Prot.* (63), pp. 63-70.
- Garmendia, Gabriela y Vero, Silvana (2006). "Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas". *Horticultura*. (197), pp. 18-27.
- Gil, María; Allende, Ana; Martínez-Sánchez, Asunción (2007). "Factores que afectan al contenido de compuestos bioactivos en alimentos de IV gama". *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones*. (S5-O199), pp. 716-725.
- Gil, María; Gómez-López, Vicente; Hung, Yen-Con y Allende, Ana (2015). "Potential of Electrolyzed Water as an Alternati-

- ve Disinfectant Agent in the Fresh-Cut Industry". *Food and Bioprocess Technology*. (8), pp. 1336-1348.
- Gutiérrez, Diego; Char Cielo; Escalona, Víctor; Chaves, Alicia y Rodríguez, Silvia (2015). "Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.)". *Journal Food Processing and Preservation*. 39(6), pp. 3117-3127.
- Gutiérrez, Diego; Chaves, Alicia y Rodríguez, Silvia (2016). "Use of UV-C and gaseous ozone as sanitizing agents for keeping the quality of fresh-cut rocket (*Eruca sativa* Mill.)". *Journal Food Processing and Preservation*. (01), pp. 1-13.
- Gutiérrez, Diego y Rodríguez Silvia (2017). "Combined effect of UV-C and modified atmosphere packaging for keeping antioxidant compounds and extend to shelf-life of fresh-cut rocket leaves". *International Journal of New Technology and Research*. (03), pp. 62-68.
- Gutiérrez, Diego; Chaves, Alicia y Rodríguez, Silvia (2018). "UV-C and ozone treatment influences on the antioxidant capacity and antioxidant system of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.)". *Postharvest Biology and Technology*. (138), pp. 107-113.
- Houstis, Nicholas; Rosen, Evan y Lander, Eric (2006). "Reactive oxygen species have a causal role in multiple forms of insulin resistance". *Nature*. (440), pp. 944-948.
- Huang Hao; Ge Ziwei; Limwachiranon, Jarukitt; Li, Li; Li, Weirong y Luo Zisheng (2017). "UV-C treatment affects browning and starch metabolism of minimally processed lily bulb". *Postharvest Biology and Technology*. (128), pp. 105-111.
- Kader, Adel. (2002). "Modified atmospheres during transport and storage". En *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. Pub 3311. (pp. 135-144). California: University of California,
- Karaca, Hakan y Velioglu, Sedat (2014). "Effects of ozone treatments on microbial quality and some chemical properties of lettuce, spinach, and parsley". *Postharvest Biol. Technol.* (88), pp. 46-53.

- Kawashima, Luciane y Soares, Lucia (2003). "Mineral profile of raw and cooked leafy vegetables consumed in Southern Brazil". *J. Food Compos. Anal.* (16), pp. 605–611.
- Klockow, Paul y Keener, Kevin (2009). "Safety and quality assessment of packaged spinach treated with a novel ozone-generation system". *Food Sci. Technol.* (42), pp. 1047–1053.
- Koukounaras, Athanasios; Siomos, Anastasios y Sfakiotakis, Evangelos (2007). "Postharvest CO<sub>2</sub> and ethylene production and quality of rocket (*Eruca sativa* Mill.) leaves as affected by leaf age and storage temperature". *Postharvest Biol. Technol.* (46), pp. 167-173.
- Leistner, Lothar y Gould, Grahame (2002). "*Hurdle technologies: combination treatments for food stability, safety and quality*". Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.
- Lemoine, María Laura; Chaves, Alicia y Martínez, Gustavo (2010). "Influence of combined hot air and UV-C treatment on the antioxidant system of minimally processed broccoli (*Brassica oleracea* L. var. *Italica*)". *LWT - Food Science and Technology.* (43), pp. 1313-1319.
- Manzocco, Lara; Pieve, Sara y Maifreni, Michela (2011). "Impact of UV-C light on safety and quality of fresh-cut melon". *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* (12), pp. 13–17.
- Martínez-Hernández, Ginés; Artés-Hernández, Francisco; Gómez, Perla; Formica, Ana y Artés, Francisco (2013). "Combination of electrolysed water, UV-C and superatmospheric O<sub>2</sub> packaging for improving fresh-cut broccoli quality". *Postharvest Biol. Technol.* (76), pp. 125–134.
- Martínez-Hernández, Ginés; Gómez, Perla; Pradas, Inmaculada, Artés, Francisco y Artés-Hernández, Francisco (2011). "Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi broccoli". *Postharvest Biol. Technol.* (62), pp. 327–337.
- Nunes, Tatiana; Martins, Cecilia; Faria, Adelia; Biscola, Vanessa; de Oliveira Souza, Katia; Mercadante, Adriana; Cardenunsi, Beatriz y Landgraf, Mariza (2013). "Changes in total ascorbic acid and carotenoids in minimally processed irradiated Aru-

- gula (*Eruca sativa* Mill) stored under refrigeration". *Radiation Physics and Chemistry*. (90), pp. 125-130.
- Oliveira Marcia; Abadias María; Usall Josep; Torres Rosario; Teixidó Neus y Vinas Inmaculada (2015). "Application of modified atmosphere packaging as a safety approach to fresh-cut fruits and vegetables-A review". *Trends Food Science Technology*. (46), pp. 13-26.
- Ölmez, Hulya y Akbas, Melten (2009). "Optimization of ozone treatment of fresh-cut green leaf lettuce". *J. Food Eng.* (90), pp. 487-494.
- Ölmez, Hulya; Kretzschmar, Ursula (2009). "Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact". *LWT e Food Science and Technology*. (42), pp. 686-693.
- Parish, Mickey; Beuchat, L.; Suslow, Trevor, Harris, Linda; Garrett, E.; Farber, Jeff y Busta, Francis (2003). "Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce". *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. (2), pp. 161-173
- Parzanese, Magalí (2012). "Vegetales mínimamente procesados". *Alimentos Argentinos*. 55, pp. 31-39.
- Perkins-Veazie, Penelope; Collins, Jullie y Howard, Luke (2008). "Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation". *Postharvest Biol. Technol.* (47), pp. 280-285.
- Ramos, Bárbara; Miller, Fatima; Brandão, Teresa; Teixeira, Paula y Silva, Cristina (2013). "Fresh fruits and vegetables-An overview on applied methodologies to improve its quality and safety". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. (20), pp. 1-15.
- Rico, Daniel; Martín-Diana, Ana; Barat, José y Barry-Ryan, Catherine (2007). "Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: A review". *Trends in Food Science and Technology*. (18), pp. 373-386.
- Rodríguez, Silvia del C.; Gutiérrez, Diego y Sgroppo, Sonia (2015). "Productos vegetales de IV gama. Aspectos genera-

- les". *Revista Simiente*. 85 (1-2): pp. 1-12.
- Singh, N., Singh, R. K., Bhunia, A. K. y Stroshine, R. L. (2002). "Efficacy of chlorine dioxide, ozone, and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157: H7 on lettuce and baby carrots". *LWT-Food Science and Technology*. 35(8), pp. 720–729.
- Teoh L. S., Lasekan O., Adzahan N. M. y Hashim N. (2016). "The effect of combinations of UV-C exposure with ascorbate and calcium chloride dips on the enzymatic activities and total phenolic content of minimally processed yam slices". *Postharvest Biology and Technology*. (120), pp. 138-144.
- Torales, Ana Catalina. (2016). *Efecto de atmósferas modificadas pasivas y activas en la conservación de una mezcla binaria de hortalizas mínimamente procesadas: rúcula y anco rallado*. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.
- Wang, Chien; Chen, Chi.Tsun y Wang, Shiow (2009). "Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C". *Food Chem.* (117), pp. 426–431.
- Xu, Fangxu; Wang, Shenghou; Xu, Jie; Liu, Shiyang y Li, Guode (2016). "Effects of combined aqueous chlorine dioxide and UV-C on shelf-life quality of blueberries". *Postharvest Biology and Technology*. (117), pp. 125-131.



# EVALUACIÓN DEL “GEOIDE-AR16”, MEDIANTE MODELOS DE ONDULACIÓN GEOIDAL ÁREA DE RIEGO DEL RÍO DULCE, SANTIAGO DEL ESTERO

JOSÉ GOLDAR<sup>1</sup>; LEONEL AYUNTA<sup>2</sup>;  
GONZALO GEREZ<sup>3</sup>; CARLOS GUTIÉRREZ<sup>4</sup>; JOSÉ PASTE<sup>5</sup>;  
ROBERTO PIROLA<sup>6</sup>; DANIEL SANDEZ<sup>7</sup>

## Resumen

Las alturas geométricas y las físicas están referidas a distintas superficies de referencia, el elipsoide y el geoide respec-

1 Director del proyecto, Modelos de geoide regional para el área de riego del río Dulce, Santiago del Estero. Doctor en Agrimensura. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

2 Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

3 Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

4 Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

5 Magister en Ingeniería Ambiental. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

6 Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

7 Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

tivamente. Los modelos de ondulación geoidal, permiten la transformación de las alturas elipsoidales en alturas físicas, cuyas precisiones dependen de la exactitud del modelo generado. El modelo de geoide argentino "GEOIDE- Ar 16" fue presentado por el Instituto Geográfico Nacional, de manera oficial en diciembre del 2016, siendo su exactitud estimada de 0,25 m. Por ello se planteó el objetivo de evaluar el comportamiento y determinar el grado de aplicación del "GEOIDE-Ar16", dentro del área de riego del río Dulce en la provincia de Santiago del Estero. El trabajo se desarrolló mediante la generación de diferentes modelos de ondulación geoidal con mediciones locales, efectuadas oportunamente, dentro de la zona de estudio. Cada modelo generado fue sometido a un proceso de validación cruzada "dejando uno fuera". La evaluación del modelo de geoide argentino se realizó comparando las diferencias de ondulación puntual, que se obtiene en distintos puntos de observación ( $\Delta N = N_{\text{GEOIDEAr16}} - N_{\text{MEDIDO}}$ ). Estas diferencias se analizaron de dos maneras, considerando las mismas con sus respectivos signos y la otra forma fue analizarlas en valor absoluto. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se observa que analizar las diferencias en valor absoluto resulta más objetivo y criterioso, ya que de esta forma se conserva la magnitud de las diferencias, sin producirse cancelaciones que pueden llevar a valores erróneos. Con ello la evaluación de GEOIDE-Ar16, dentro del área de estudio, tiene un comportamiento y un grado de precisión del orden de entre los 2 y 3 decímetros, compatible con su exactitud estimada.

Palabras clave: alturas; modelos; evaluación; geoide

## Abstract

Geometric and physical heights refer to different reference surfaces, the ellipsoid and the geoid respectively. The geoidal undulation models allow the transformation of ellipsoidal heights into physical heights, whose precisions depend on the accuracy of the generated model. The Argentine geoid model "GEOIDE-Ar 16" was officially presented by the National Geographic Institute in December 2016. The Argentine geoid model "GEOIDE-Ar 16" was officially presented by the National Geographic Institute in December 2016, with an estimated accuracy of 0.25 m. For this reason, the objective of evaluating the behavior and determining the degree of application of the "GEOIDE-Ar16" was set, within the irrigation area of the Dulce River in the province of Santiago del Estero. The work was developed by generating different models of geoidal undulation with local measurements, carried out in a timely manner, within the study area. Each model generated was subjected to a cross-validation process "leaving one out". The evaluation of the Argentine geoid model was carried out by comparing the differences in point undulation, which is obtained at different observation points ( $\Delta N = N_{\text{GEOIDEAr16}} - N_{\text{MEASURED}}$ ). These differences were analyzed in two ways, considering them with their respective signs and the other way was to analyze them in absolute value. Taking into account the results obtained, it is observed that analyzing the differences in absolute value is more objective and careful, since in this way the magnitude of the differences is preserved, without producing cancellations that can lead to erroneous values. With this, the evaluation of GEOIDE-Ar16, within the study area, has a behavior and a degree of precision of the order of between 2 and 3 decimeters, compatible with its estimated accuracy.

Keywords: heights, model, evaluation, geoid

## Introducción

Es sabido que las alturas geométricas ( $h$ ) y las físicas ( $H$ ) están referidas a distintas superficies de referencia, el elipsoide y el geoide, respectivamente.

Para aprovechar el potencial de la tecnología GNSS (*Global Navigation Satellite System*) podemos obtener alturas ortométricas, siempre que podamos determinar la relación entre los sistemas de alturas físico y geométrico (derivado del posicionamiento satelital), a través de la conocida ecuación aproximada (1):

$$H = h - N \quad (1)$$

donde  $N$  es la separación geoide – elipsoide, u ondulación del geoide.

El empleo del posicionamiento satelital para trabajos de topografía y geodesia se ha generalizado en la actualidad, debido a la facilidad en la obtención de datos de posicionamiento, de gran precisión y en poco tiempo. Pero esta facilidad se ve limitada en el aspecto altimétrico, puesto que las alturas satelitales no son compatibles con los datos altimétricos que se obtienen por vía de las nivelaciones convencionales, y por ello no pueden utilizarse en la mayoría de los proyectos de ingeniería (Goldar, 2015).

Los modelos de ondulación geoidal permiten la transformación de las alturas elipsoidales (determinadas fácilmente a partir de observaciones GNSS/GPS) en alturas físicas (asociadas al campo de gravedad de la Tierra), sin la necesidad de llevar a cabo costosas nivelaciones geométricas, cuyas precisiones dependen de la exactitud del modelo generado. Estas alturas físicas indican la dirección del flujo de los fluidos, debido a que dichos fluidos son atraídos por la fuerza de gravedad de la Tierra; en ese sentido, las alturas físicas son utilizadas en diversas aplicaciones tales como la generación de cartografía,

la construcción de infraestructura civil y en la mayoría de los proyectos de ingeniería.

Además, al estar involucrada la superficie física del geoide, definida por la distribución de masas locales, los estudios de otra región no pueden extrapolarse. Por ende, cualquier modelo local debe surgir de observaciones locales (Goldar, 2015).

El modelo de geoide argentino "GEOIDE-Ar 16" fue presentado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), de manera oficial en diciembre del 2016 y se encuentra disponible en forma gratuita para realizar consultas sobre las ondulaciones geoidales de puntos de interés.

Ante esto nos planteamos el objetivo de evaluar el comportamiento y determinar el grado de aplicación del "GEOIDE-Ar16" dentro del área de riego del Río Dulce en la provincia de Santiago del Estero; para esto, se busca realizar comparaciones entre alturas geoidales locales obtenidas mediante mediciones y las determinadas a través del modelo.

## **Marco teórico**

### *Tipos de alturas*

Las alturas de los puntos de la superficie terrestre se miden respecto de una superficie de referencia, que puede ser un plano, el geoide (nivel medio del mar en una primera aproximación) o un elipsoide de referencia. La superficie se elige en función de la aplicación que se le quiera dar a las alturas medidas (Lauria y Groer, 2013).

Las alturas pueden clasificarse en dos tipos: geométricas o físicas. En el primer grupo hemos de considerar las alturas elipsoidales, es decir, la distancia de un punto en la superficie terrestre al elipsoide a lo largo de la normal a este. En el segundo grupo se encuentran las alturas dinámicas, ortométricas

y normales.

Las alturas dinámicas definen una superficie equipotencial del campo gravitatorio terrestre, de ahí su nombre, que proviene de su naturaleza física. Las alturas ortométricas se atienen al concepto geométrico de la altitud, es decir, la distancia medida a una superficie de referencia. Para su determinación es imprescindible conocer el valor medio de la gravedad a lo largo de la línea de la plomada, la cual no podemos obtener de una manera empírica, por lo que se requiere necesariamente de un modelo. El tipo de modelo y los valores asociados al mismo definen los diferentes sistemas de alturas ortométricas: Helmert, Niethammer, Mader, Rasmayer, etc.

Esa imprescindible dependencia de un modelo de las alturas ortométricas es lo que llevó a Molodensky a proponer un sistema de alturas normales, caracterizadas esencialmente por no necesitar de hipótesis en su definición. El problema fundamental de estas alturas es que no se refieren al geode, sino a una superficie (no equipotencial) denominada cuasi geode, también determinable sin hipótesis (Martínez Toro, 2014).

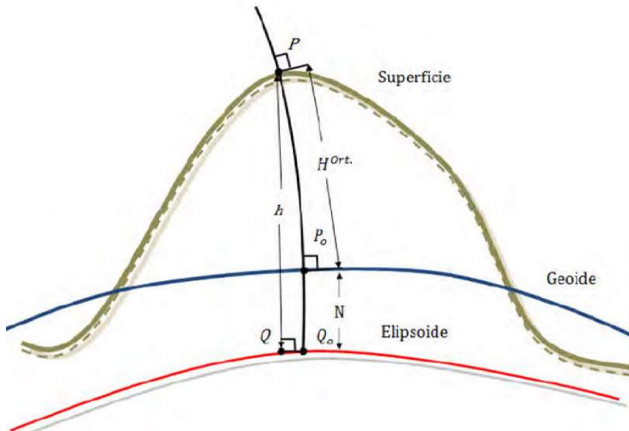


Figura 1. Sistema de alturas (Martínez Toro, 2014).

Teniendo en cuenta la figura precedente se puede fundar la ecuación (1) básica:

$$H = h - N \quad (1)$$

Esta ecuación relaciona la altura ortométrica  $H$ , la altura elipsoidal  $h$  y la ondulación geoidal  $N$ . Si al menos dos términos de la ecuación (1) son medidos, entonces la ecuación puede ser resuelta.

Si  $h$  es medido con GNSS y si existe un modelo de ondulación geoidal  $N$ , entonces la altura ortométrica  $H$  se puede obtener inmediatamente.

La ecuación (1) también puede ser utilizada para determinar  $N$  como  $N=h-H$ , si se dispone de  $h$  obtenida con GNSS y  $H$  obtenida mediante nivelación geométrica.

La superficie de referencia de las alturas ortométricas es el geoide. La superficie de referencia para las alturas normales se denomina cuasigeoide, el cual es muy cercano al geoide, pero no corresponde con una superficie equipotencial del campo terrestre de gravedad. En las áreas marinas, el geoide y el cuasigeoide son iguales, mientras que en los continentes pueden alcanzar diferencias superiores a un metro (Sánchez, 2005).

Se llaman alturas ortométricas a las distancias desde la superficie del geoide hasta los puntos de la superficie terrestre, medidas a lo largo de las líneas verticales que pasan por estos puntos.

Las alturas ortométricas no pueden calcularse exactamente ya que dependen de la distribución de las densidades dentro de la Tierra y que no es conocida. Se puede aproximar la altura ortométrica formulando alguna hipótesis de distribución de las masas terrestres (Zakatov, 1981).

### *Modelo de geoide argentino "Geoide-ar16"*

Los modelos de geoide de alta precisión han experimentado

una demanda sin precedentes debido al rápido desarrollo de las tecnologías GPS/GNSS, ya que dichos modelos permiten la transformación de las alturas elipsoidales (determinadas fácilmente a partir de observaciones GPS/GNSS) en alturas físicas, asociadas al campo de gravedad de la Tierra, sin la necesidad de llevar a cabo costosas nivelaciones geométricas. Estas alturas físicas indican la dirección del flujo de los fluidos, debido a que dichos fluidos son atraídos por la fuerza de gravedad de la Tierra, en lugar de la influencia de las diferencias de altura geométricas. En ese sentido, las alturas físicas son utilizadas en diversas aplicaciones tales como la generación de cartografía y la construcción de infraestructura civil.

En términos teóricos, un geoide es una superficie del campo de gravedad de la Tierra que se puede aproximar al nivel medio del mar. Se lo define como "una de las superficies equipotenciales del potencial de gravedad de la Tierra, de la cual la superficie (media) de los océanos forma parte" (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006). Esto significa que la superficie del geoide es perpendicular al vector de gravedad en todos los puntos. El geoide, comúnmente conocido como la figura de la Tierra, no es una superficie regular. Esta irregularidad está altamente correlacionada con la distribución no homogénea de las masas de la Tierra. La falta de uniformidad de la masa es una consecuencia de la topografía (es decir, de las montañas, valles, llanuras, etc.) y la composición interna de la Tierra (es decir, la variación en la densidad de la corteza interior). Por lo tanto, un geoide también se puede aplicar para inferir el grado de homogeneidad (o la falta de homogeneidad) de la distribución de masas de la Tierra desde la medición de las fluctuaciones gravitacionales.

El término geoide fue introducido originalmente por Gauss en 1828 para definir a la superficie equipotencial, que coincide con el nivel medio del mar. Esta definición no es hoy lo suficientemente precisa cuando se la conecta con sistemas de



alturas y GPS. En realidad, se puede decir que “es la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se aproxima a la superficie media del mar; es el *datum* natural para las alturas ortométricas medidas a lo largo de la línea de la plomada (curva); es la mejor representación gráfica del campo de gravedad terrestre” (Pacino, 2006).

Finalmente, la definición de geoide ha sido perfeccionada en los últimos años; la más completa, según Mayer (2002), es la dada por Plavis en 1994, expresada como la “superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre, ajustada al nivel medio del mar determinado por series de 18,67 años de observación y corregidos por los mejores modelos de circulación oceánica, influencia meteorológica y tectónica de placas”.

Por lo tanto, lo más importante es que en la actualidad ya no se considera al geoide como una superficie invariable, dado que el campo de gravedad terrestre sufre variaciones leves por cambios en el interior (especialmente el núcleo) y en la superficie (placas tectónicas, bloques de hielo, redistribución de aguas, etc.). Vale decir que, si se lo quiere utilizar como superficie de referencia, se debería precisar una época (Goldar, 2015).

En un sentido práctico, un modelo de geoide está dado por una cuadrícula regular sobre la superficie de la Tierra y un valor llamado ondulación del geoide ( $N$ ), que representa la separación entre dos superficies fundamentales geodésicas: el geoide y el elipsoide. Se asigna en cada punto de la red (Heiskanen y Moritz, 1967) el valor de  $N$ , que se calcula como  $N = h - H$ , donde  $h$  es la altura elipsoidal (es decir, la altura con respecto al elipsoide de referencia) y  $H$  es la altura ortométrica (es decir, la altura con respecto al nivel medio del mar o al geoide, dependiendo de la definición del datum vertical).

En nuestro país, el modelo de geoide gravimétrico GEOIDE-Ar 16 (Figura 2) fue desarrollado por IGN junto con la RMIT University (Australia) utilizando la técnica remove-compute-restore (RCR, Remover-Computar-Restaurar) y el modelo

geopotencial GOCO05S hasta su grado y orden máximo (es decir 280), junto 671.547 mediciones de gravedad observadas en el sistema gravimétrico IGSN71 sobre el territorio continental argentino, sus países limítrofes, Islas Malvinas y el litoral marino (Figura 3).

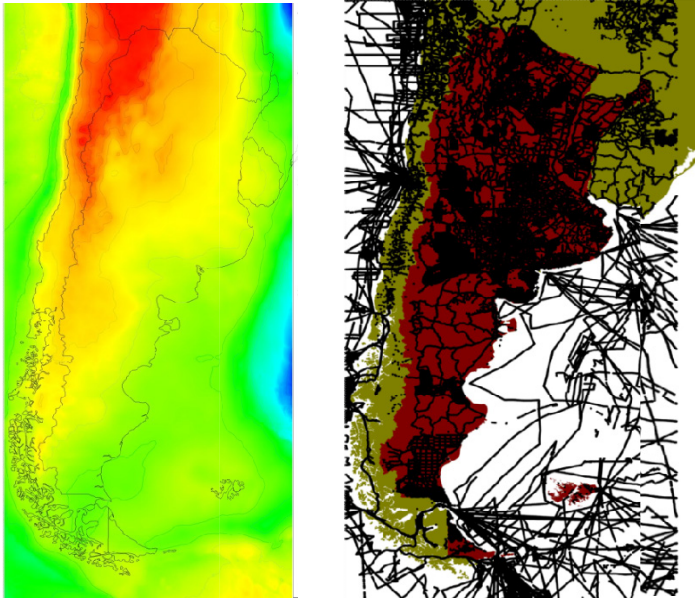


Figura 2. Modelo de Geoide Gravimétrico Nacional GEOIDE-Ar 16 (IGN). Figura 3. Puntos gravimétricos utilizados para generar GEOIDE-Ar 16(IGN).

Las observaciones gravimétricas fueron capturadas por el IGN y cedidas gentilmente por diversos organismos, agencias, empresas y universidades. Para cumplir con la condición de contorno, las masas topográficas fueron removidas utilizando el segundo método de condensación de Helmert. Tanto las correcciones del terreno como el efecto indirecto del terreno

fueron determinados utilizando una combinación de los modelos digitales de elevación SRTM\_v4.1y SRTM30\_Plus\_v10, y una densidad de las masas topográficas igual a  $2,67 \text{ g cm}^{-3}$  para el terreno y  $1,03 \text{ g cm}^{-3}$  para el océano. En las regiones que carecían de observaciones gravimétricas, se utilizó el modelo de gravedad DTU13 para mejorar la cobertura gravimétrica. Finalmente, todas las anomalías de gravedad residuales se interpolaron utilizando el algoritmo Kriging.

La grilla de gravedad resultante fue utilizada para determinar la integral de Stokes mediante el procedimiento multibanda esférica FFT con la modificación determinista del *kernel* de Stokes.

GEOIDE-Ar 16 se ajustó al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 2007 y el Sistema Vertical Nacional a partir de la determinación de una superficie correctiva calculada mediante el método clásico de transformación de 4 parámetros (para computar la superficie de tendencia) y una colocación por mínimos cuadrados (para estimar los residuos).

La precisión de GEOIDE-Ar 16 se evaluó mediante 1.904 puntos de nivelación observados con GPS doble frecuencia (Figura 4). Los desvíos estándar de las diferencias entre la ondulación geoidal derivada de los puntos GPS-nivelación y las ondulaciones del nuevo modelo de geoide son menores a 0,05 m. Asimismo, la exactitud estimada del modelo GEOIDE-Ar 16 es 0,25 m, mientras que su precisión relativa para las líneas base con una longitud menor a los 500 km es de aproximadamente 0,10 m (para el 91% de los casos).

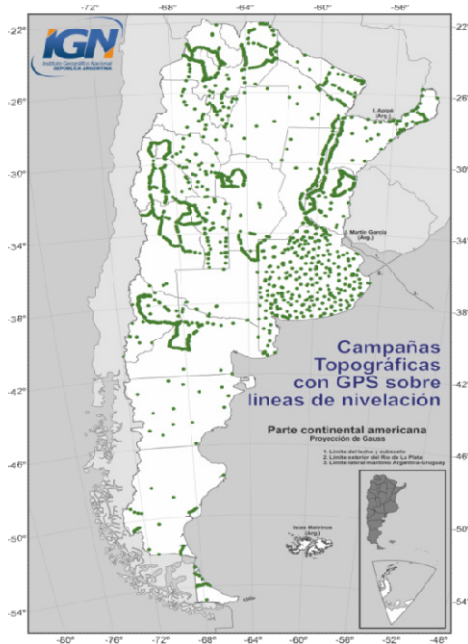


Figura 4. Puntos GPS-Nivelación utilizados para determinar la precisión de GEOIDE-Ar 16.

### *Modelos de ondulaciones geoidales*

El desarrollo de modelos geoidales (superficie equipotencial del campo de gravedad) permite la transformación de la información satelital altimétrica (alturas sobre el elipsoide de referencia del sistema que se trate) en valores de altura con sentido físico, con grados de precisión que dependen de la exactitud del modelo de transformación.

Además, por tratarse de un problema de comparación de una superficie física (geoide), definida por distribuciones de masas locales, con otra de carácter geométrico (elipsoide),

definida por el sistema de referencia que se utiliza, los estudios y/o trabajos de otra región no puedan generalizarse ni extrapolarse. Es por eso, que el modelo local debe surgir de observaciones locales (Goldar, 2015).

En general, existen diferentes procedimientos para la determinación de la superficie del geoide y su posterior modelado, ya sea mediante determinaciones terrestres, satelitales o combinaciones de ambas. Entre ellas podemos mencionar: método astrogeodésico, método gravimétrico, método de altimetría satelital, método de determinación de coeficientes armónicos esféricos del potencial gravitatorio, método combinado y método geométrico, también conocido como de diferencia de alturas.

#### *Método geométrico o de diferencia de alturas*

Este último método surge a partir del advenimiento de los sistemas de posicionamiento satelital, en virtud de la relativa facilidad para obtener alturas elipsoidales precisas, las que son brindadas por estos sistemas.

El método geométrico permite obtener valores de ondulación de la superficie geoidal ( $N$ ) en puntos discretos; para conocer el comportamiento del geoide en una determinada zona hay que generar un modelo, observando en puntos convenientemente distribuidos dentro de dicha zona. Disponiendo de suficiente densidad de puntos con doble información altimétrica (elipsoidal y ortométrica) con una distribución geográfica conveniente, será posible describir el comportamiento de  $N$  entre ellos. En este método no se utiliza información alguna del campo gravitatorio terrestre entre los puntos observados. En consecuencia, es extremadamente difícil predecir las variaciones de ondulación geoidal ( $N$ ) entre los mismos.

La única posibilidad es recurrir a un proceso de interpolación numérica. La función resultante  $N(\varphi, \lambda)$  es lo que llamamos modelo del geoide. En estas condiciones, será posible conocer el valor de la ondulación del geoide en cualquier punto de coordenadas  $\varphi$  y  $\lambda$ , en el área donde la interpolación sea válida (Del Cogliano, 2006).

De esta manera, cuando se posiciona un punto intermedio de la zona abarcada por el modelo, utilizando tecnología GNSS, se dispondrá de las coordenadas geodésicas  $\varphi$ ,  $\lambda$  y  $h$ , con lo cual será posible calcular la altura ortométrica  $H$  en el mismo punto a través de la ecuación  $H=h-N(\varphi, \lambda)$ .

Esto permitiría usar la altimetría satelital, entre otros fines, para proyectos de obras civiles, siempre dentro de la precisión requerida para estas tareas.

#### *La precisión en el cálculo de modelos de ondulaciones geoidales.*

En general, la precisión de un modelo de geoide calculado mediante procedimiento geométrico, para una determinada zona de estudio, depende de tres factores:

- a) La precisión lograda en la obtención de las alturas que intervienen (elipsoidal y geoidal) en el cálculo de la ondulación puntual;
- b) La densidad y distribución geográfica de los puntos con doble altura conocida, para la generación del modelo.
- c) La calidad de la interpolación (Goldar, 2015).

Una mejora en cualquiera de los factores implicaría un aumento de la calidad del modelo. Con respecto a la precisión de las alturas, no existen inconvenientes dado que, contando con el instrumental adecuado, se pueden obtener alturas, tanto con respecto al geoide como al elipsoide de referencia, dentro de

un entorno de los muy pocos centímetros.

En cuanto a la densidad y distribución geográfica de los puntos con doble altura conocida, este aspecto es importante y tiene una incidencia directa en la precisión final de los modelos de la superficie geoidal, es un factor sobre el cual se puede hacer hincapié para mejorar la calidad de los modelos, pero el inconveniente del mismo es que la mayor fuente de datos básicos utilizados son los puntos de la Red Nacional del IGN, y actualmente en un porcentaje cercano al 50% se encuentran perdidos o destruidos dentro de la provincia. La ubicación de estos puntos pertenecientes RN-Ar, en buenas condiciones, resulta indispensable para contar con alturas ortométricas confiables a fines de determinar su altura elipsoidal y poder así realizar la densificación de los puntos generadores de los modelos. De esta manera, se evita realizar largos itinerarios de nivelación, para mejorar la densidad de puntos de cota conocida, tarea que conlleva mayores erogaciones en personal técnico y gastos de campaña.

Por último, en cuanto a la calidad de la interpolación, según Goldar, Gerez y Gutiérrez (2018), se ha logrado un gran avance en la optimización de procesos de interpolación para modelos de ondulaciones de la superficie geoidal en Santiago del Estero, de lo que resultó la determinación de los métodos más recomendables para llevar a cabo el proceso de la interpolación en la Provincia.

Así, teniendo en cuenta la última variable (la calidad de la interpolación), una modelización estadística general exige una validación *a posteriori* de sus resultados, y de forma particular la modelización geoestadística requiere de dicha validación. Estos procesos de validación se basan en una reestimación de los valores conocidos bajo las condiciones de implementación de los modelos construidos (Ginzo Villamayor, 2014)

Existe una variedad de métodos y procedimientos para conocer la calidad de los resultados, o la bondad del ajuste. El

proceso más empleado para conocer la calidad del resultado de una modelación por interpolación es la de validación cruzada y sirve para comparar valores estimados por los modelos con los valores reales. Hay distintas técnicas de validación cruzada; entre ellas, las más utilizadas son la "validación dejando uno fuera" y la "tabla de aprendizaje y tabla de prueba".

La validación cruzada se puede considerar un método objetivo para evaluar la calidad de un método de grillado, o para comparar la calidad relativa de dos o más métodos de cuadrículado.

La técnica "tabla de aprendizaje y tabla de prueba" separa del conjunto total de datos de observación un grupo de datos de prueba o testeo, produciendo una única iteración con los datos de entrenamiento y comparando los valores predichos por el modelo, para los datos de prueba, con los valores observados de dichos datos.

Rodríguez (2016) afirma que el enfoque "tabla de aprendizaje y tabla de prueba" presenta dos grandes problemas; por un lado, la estimación del error tiende a ser muy variable dependiendo de cuáles datos quedan en la tabla de aprendizaje y cuáles en la tabla de prueba y, por otro, se tiende a sobreestimar la estimación del error, es decir, es mucho mayor el error en la tabla de prueba que en toda la tabla de datos. Ante ello, propone "la validación cruzada dejando uno fuera" o LOOCV por su acrónimo en inglés (*leave one out cross validation*), la cual presenta la ventaja de que la estimación del error es mucho más estable, sin la tendencia a la sobreestimación del enfoque "tabla de aprendizaje y tabla de prueba".

Por su parte Goldar, Gerez y Gutiérrez (2015) demostraron que la metodología de "validación cruzada dejando uno fuera" resulta más recomendable que el enfoque "tabla de aprendizaje y tabla de prueba", para la validación de modelos de ondulaciones geoidales generados por interpolación.



### *Validación cruzada dejando uno fuera*

Es un proceso iterativo en el que se elimina cada punto de datos observado, uno a la vez, dejando el modelo de otra forma inalterada y a continuación se realiza el cálculo de los valores predichos en estos puntos. Cada uno de estos valores se compara, por ejemplo, mediante regresión lineal, con el valor real. Buenos coeficientes de correlación/determinación serán indicativos de una correcta modelización (Ginzo Villamayor, 2014).

Esta técnica permite evaluar la calidad relativa de la red mediante el cálculo y la investigación de los errores de cuadrículado. Estos errores se calculan mediante la eliminación de la primera observación del conjunto de datos. Utilizando el resto de datos y el algoritmo especificado para interpolar, se obtiene un valor interpolado en la ubicación de la primera observación. Usando el valor de observación conocido en esta ubicación, se calcula el error de interpolación con la ecuación 5.1., donde  $e_c$  es el error de grillado,  $V_i$  el valor interpolado y  $V_o$  el valor observado en dicha ubicación.

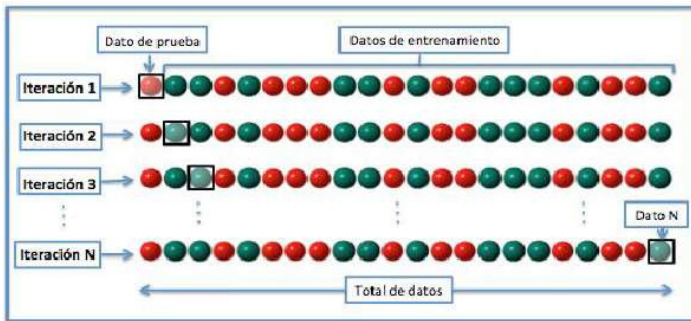
Luego, la primera observación se restaura en el conjunto de datos y se retira la segunda observación del mismo. Utilizando los datos restantes, incluyendo la primera observación y el algoritmo definido, se interpola un valor en el lugar de la segunda de observación. Inmediatamente, utilizando el valor medido en la localización de esta segunda observación, se determina el error de interpolación con la ecuación (2).

$$e_c = V_i - V_o \quad (2)$$

Continuando el proceso, la segunda observación se coloca nuevamente en el conjunto de datos y el proceso sigue iterativamente de igual manera para la tercera observación; luego prosigue la cuarta, la quinta, etc., hasta incluir la observación N. La figura 5 esquematiza este proceso de LOOCV.

De esta manera, el proceso genera  $N$  errores de interpolación, a partir de los cuales pueden calcularse varios estadísticos de interés para contar con una medida objetiva de la calidad del método de interpolación utilizado en cada caso.

El estadístico más significativo que nos da la calidad del interpolador es el error de validación cruzada  $e_{vc}$ , que se calcula a partir de la ecuación (3) (Goldar, Gerez y Gutiérrez, 2018).



$$e_{vc} = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (3)$$

Figura 5. Esquema de validación cruzada dejando uno fuera.

### Zona de estudio

La zona de estudio se encuentra dentro de la provincia de Santiago del Estero, en la región denominada "área de riego del Río Dulce"; cabe destacar que la superficie de influencia comprendida por la misma es de unas 275.365 hectáreas según la Unidad Ejecutora del Servicio de Riego del Río Dulce (Figura 6). La zona de estudio donde se desarrolla esta investigación

se encuentra (Figura 7) comprendida entre extremos latitudinales de 27°34'40,86" (S) y 27°56'14,86" (S) y longitudinales 64°03'08,86" (W) y 64°22'35,71" (W), donde la superficie de la zona de estudio definida por la posición relativa de los puntos es de 86.500 hectáreas aproximadamente.

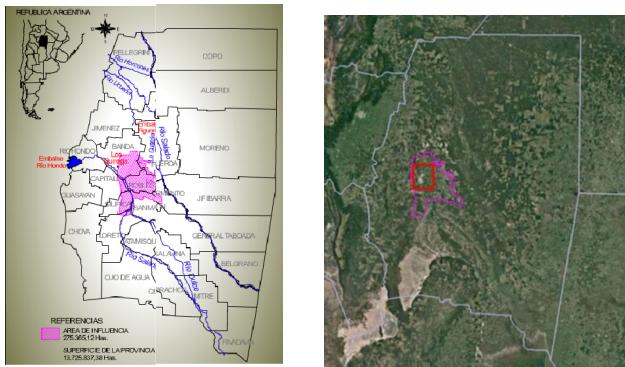


Figura 6. "Área de riego del Rio Dulce". Figura 7. Zona de estudio.

### Fuente de datos

La fuente de datos necesarios son puntos de los cuales se conoce su ondulación puntual, calculada mediante la ecuación aproximada (4), sin considerar el desvío de la vertical a en virtud de que es un valor muy pequeño, a partir de la determinación de las alturas tanto geométricas ( $h_p$ ), como físicas ( $H_p$ ), de los puntos datos.

$$N = h_p - H_p \quad (4)$$

La forma más rápida de obtener puntos de base, para el modelado es, sin duda, a partir de puntos con alturas conocidas sobre el nivel medio del mar y determinar su altura sobre el elipsoide mediante la vinculación, con un punto de altura elipsoidal conocida, a través de un vector GPS. La otra alternativa,

en general más complicada, es dar altura física a puntos de altura elipsoidal conocida, mediante un procedimiento de nivelación geométrica de precisión, si se pretende alcanzar las precisiones requeridas.

En la Tabla 1, se detallan 12 puntos, los cuales pertenecen a la Red de Nivelación Argentina (RN-Ar): un Nodal, de los 8 que se encuentran dentro de la provincia al cual convergen varias líneas de nivelación de alta precisión, 4 puntos pertenecientes a una línea de precisión y 7 puntos pertenecientes a diversas líneas de alta precisión que convergen en el Nodal 184.

En la Tabla 2, se presentan los 26 PF de una línea de 25 km de longitud nivelada en el año 2000, en simultáneo con las mediciones para el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur, de aquella época, hoy para las Américas (SIRGAS), con el objeto de dotar de cota al punto RBL5, perteneciente a dicha red y punto en común con POSGAR. Esta línea partió y cerró en el Nodal 184 detallado en la Tabla 1 y fue la base del primer estudio de ondulaciones geoidales en la provincia de Santiago del Estero (Goldar, 2015).

Tabla 1. Puntos de la RN-Ar

ORDEN	PUNTO	LATITUD(SUR)	LONGITUD (OESTE)	NORTE(X)	ESTE(Y)	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	COTA(H)	ONDULACION MEDIDA (N)
1	NODAL 184	27° 47' 02.19132"	64° 15' 17.20081"	6926835,710	4376326,766	209,340	184,550	24,790
2	PF14 n(141)A	27° 39' 53.46709"	64° 22' 35.71599"	6939906,309	4364172,153	239,189	213,787	25,402
3	PF15 n(141)A	27° 41' 33.74293"	64° 21' 01.02198"	6936847,836	4366801,636	236,745	211,415	25,330
4	PF16 n(141)A	27° 43' 15.42239"	64° 19' 32.89755"	6933743,688	4369250,295	226,817	201,615	25,202
5	PF17 n(141)A	27° 44' 59.94610"	64° 18' 06.11577"	6930551,128	4371661,878	222,818	197,684	25,134
6	PF1 N(183)	27° 48' 01.85574"	64° 16' 52.18897"	6924972,010	4373745,063	211,571	186,735	24,836
7	PF1 N(182)	27° 48' 19.22260"	64° 15' 1.23208"	6924468,648	4376788,139	208,061	183,343	24,718
8	PF5 N(182)	27° 54' 39.21092"	64° 13' 47.04664"	6912790,618	4378936,336	196,441	171,668	24,773
9	PF6 N(182)	27° 56' 14.83763"	64° 13' 30.17381"	6909851,203	4379427,269	193,601	168,909	24,692
10	PF7 N(198)	27° 38' 40.11262"	64° 11' 08.00118"	6942360,284	4383001,234	205,041	180,336	24,705
11	PF9 N(198)	27° 36' 08.87934"	64° 08' 55.61675"	6947050,317	4386587,286	201,827	177,161	24,666
12	PF27 N(301)	27° 38' 26.76840"	64° 03' 08.85599"	6942890,111	4396133,357	203,151	178,689	24,462

Tabla 2. Puntos fijos con cotas obtenidas a partir de nivelación geométrica de precisión

ORDEN	PUNTO	LATITUD(SUR)	LONGITUD(OESTE)	NORTE(X)	ESTE(Y)	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	COTA(H)	ONDULACION MEDIDA (N)
13	RBL5	27° 54' 42.58600"	64° 07' 09.23730"	6912791,119	4389816,750	193,270	168,830	24,440
14	487	27° 54' 36.96193"	64° 07' 05.73110"	6912965,139	4389911,055	192,990	168,800	24,190
15	488	27° 54' 27.96247"	64° 07' 13.48195"	6913240,259	4389696,546	193,260	169,280	23,980
16	489	27° 54' 14.66520"	64° 07' 26.42381"	6913646,385	4389338,841	193,910	169,440	24,470
17	490	27° 55' 40.74817"	64° 07' 55.72790"	6914683,173	4388527,722	195,760	171,320	24,440
18	491	27° 55' 13.59867"	64° 08' 05.38205"	6915516,556	4388255,913	196,120	171,660	24,460
19	492	27° 52' 42.04188"	64° 08' 17.60209"	6916484,965	4387912,617	196,870	172,380	24,490
20	493	27° 52' 33.80817"	64° 08' 22.09946"	6916737,305	4387787,227	196,840	172,540	24,300
21	494	27° 52' 03.32818"	64° 08' 26.97080"	6917674,424	4387645,226	198,090	173,130	24,960
22	495	27° 51' 20.11916"	64° 08' 48.80609"	6918999,084	4387035,385	198,590	174,060	24,530
23	496	27° 50' 52.43712"	64° 09' 13.38664"	6919844,995	4386354,789	199,010	174,360	24,650
24	497	27° 50' 17.66530"	64° 09' 40.75254"	6920908,415	4385595,808	200,770	176,160	24,610
25	498	27° 49' 43.29720"	64° 10' 06.84884"	6921959,692	4384871,563	202,140	177,020	25,120
26	499	27° 49' 22.38690"	64° 10' 21.28486"	6922599,669	4384470,312	202,830	177,850	24,980
27	500	27° 49' 05.64738"	64° 10' 32.66298"	6923112,034	4384153,951	203,570	178,570	25,000

ORDEN	PUNTO	LATITUD(SUR)	LONGITUD(OESTE)	NORTE(X)	ESTE(Y)	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	COTA(H)	ONDULACION MEDIDA (N)
28	501	27° 48' 35.31894"	64° 10' 53.32931"	6924040.296	4383579.292	204,570	180,420	24,150
29	502	27° 48' 06.70650"	64° 11' 23.32345"	6924913.233	4382749.702	205,860	180,780	25,080
30	503	27° 47' 24.35592"	64° 12' 11.45349"	6926204.208	4381419.326	207,430	182,990	24,440
31	504	27° 46' 39.02431"	64° 12' 51.73138"	6927588.946	4380302.769	208,710	183,890	24,820
32	505	27° 46' 25.90779"	64° 13' 10.20441"	6927987.745	4379792.932	208,670	184,150	24,520
33	506	27° 46' 14.58513"	64° 13' 35.69224"	6928329.383	4379091.518	208,960	184,050	24,910
34	507	27° 46' 02.59451"	64° 14' 02.65943"	6928691.139	4378349.344	210,090	184,790	25,300
35	MISKI	27° 46' 04.81642"	64° 14' 35.22501"	6928613.752	4377458.233	209,750	185,000	24,750
36	CURVA	27° 46' 00.17192"	64° 14' 45.19999"	6928753.974	4377183.622	209,330	184,540	24,790
37	PUENTE	27° 46' 22.47968"	64° 15' 07.08557"	6928061.113	4376591.277	212,280	187,690	24,590
38	AGUIRRE	27° 46' 48.50853"	64° 15' 01.51614"	6927261.331	4376751.939	211,800	187,260	24,540

En la Tabla 3, se presentan los 17 puntos de una línea desarrollada en el marco del proyecto *Determinación de las Ondulaciones del Geoide para la provincia de Santiago del Estero*, en el año 2007, cuya nivelación geométrica tiene como punto de arranque y cierre en el PF N°1 de la línea de alta precisión N (182), la que tiene una longitud 17 km (Goldar, 2015).

En la Tabla 4, se presentan 5 PF seleccionados de los 29 que constituyen una red de nivelación local, materializados por marcas colocadas en las obras de arte de canales de riego y de drenaje (La Banda – Clodomira), con una distancia entre puntos que no supera los 2 km, conformando tres itinerarios de unos 17 km. Los puntos de cada línea se identifican según sean del canal Norte (CN), canal de La Cuarteda (CC) o canal de drenaje (CD). En cada una de estas líneas se realizó una nivelación geométrica de precisión, conformando itinerarios cerrados de puntos que se encuentran vinculados al PF N°7 de la línea de alta precisión N (198) (Goldar, Gerez y Gutiérrez, 2018).

En la Tabla 5, se muestra el único punto de la Red GPS de Referencia Cartográfica y Catastral de la provincia de Santiago del Estero, que se encuentra dentro de la zona de estudio, el mismo posee altura elipsoidal ( $h$ ), entonces para darle altura ortométrica ( $H$ ) se vinculó a la RN-Ar a través del PF17 n(141)A.



Tabla 3. Puntos fijos con cotas obtenidas a partir de nivelación geométrica de precisión

ORDEN	PUNTO	LATITUD(SUR)	LONGITUD (OESTE)	NORTE(X)	ESTE(Y)	ALTURA ELIP-SOIDAD (h)	COTA(H)	ONDULACION(MEDIDA (N))
39	PF 2	27° 48' 30.31135"	64° 14' 55.24741"	6924128,932	4376955,443	207,281	182,856	24,425
40	PF 3	27° 49' 6.52659"	64° 14' 48.68363"	6923015,817	4377146,446	206,083	181,649	24,434
41	PF 4	27° 49' 1.91836"	64° 14' 30.68627"	6923162,682	4377637,636	206,127	181,708	24,419
42	PF 5	27° 48' 58.53195"	64° 14' 12.74568"	6923271,896	4378127,662	205,782	181,353	24,429
43	PF 6	27° 49' 22.81971"	64° 14' 7.38209"	6922525,640	4378282,002	205,476	181,054	24,422
44	PF 7	27° 49' 47.46529"	64° 14' 2.37025"	6921768,270	4378426,810	204,954	180,095	24,859
45	PF 8	27° 50' 35.35465"	64° 13' 48.12721"	6920297,839	4378831,411	204,052	179,350	24,702
46	PF 9	27° 51' 9.64691"	64° 13' 28.18408"	6919247,561	4379387,712	201,939	177,289	24,650
47	PF 10	27° 51' 50.47796"	64° 13' 9.76223"	6917995,539	4379904,298	201,610	177,062	24,548
48	PF 11	27° 52' 21.03915"	64° 12' 56.70419"	6917058,216	4380270,906	201,347	176,760	24,587
49	PF 12	27° 52' 58.18458"	64° 12' 30.38930"	6915921,759	4381002,116	200,780	176,205	24,575
50	PF 13	27° 53' 16.43386"	64° 12' 11.59133"	6915364,989	4381521,866	199,634	175,085	24,549
51	PF 14	27° 53' 40.70080"	64° 11' 52.89601"	6914622,908	4382040,573	198,284	173,761	24,523
52	PF 15	27° 54' 8.48964"	64° 11' 47.79790"	6913768,749	4382188,382	197,600	172,948	24,652
53	PF 16	27° 54' 47.59700"	64° 11' 52.68498"	6912563,460	4382066,501	196,282	171,708	24,574
54	PF 17	27° 55' 20.12982"	64° 11' 46.49274"	6911563,542	4382245,638	194,524	169,979	24,545
55	PF 18	27° 55' 49.07330"	64° 11' 38.00037"	6910674,738	4382486,565	194,601	169,604	24,997

Tabla 4. Puntos fijos con cotas obtenidas a partir de nivelación geométrica de precisión

ORDEN	PUNTO	LATITUD (SUR)	LONGITUD (OESTE)	NORTE (X)	ESTE (Y)	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	COTA (H)	ONDULACION MEDIDA (N)
56	CC 9	27° 37' 16.43278"	64° 12' 41.95919"	6944911.403	4380400.073	206.505	180.193	26.312
57	CC17-CD 11	27° 34' 40.86293"	64° 08' 26.49797"	6949767.284	4387360.896	201.783	175.435	26.348
58	CN 1	27° 41' 46.11546"	64° 17' 13.90403"	6936533.518	4373029.557	219.268	192.800	26.468
59	CN 20	27° 35' 44.04541"	64° 16' 53.54077"	6947686.028	4373471.865	212.974	186.315	26.659
60	CD 1	27° 41' 19.36821"	64° 13' 32.42446"	6937418.823	4379090.523	210.754	184.376	26.378

Tabla 5. Punto fijo perteneciente a la Red GPS de Referencia Cartográfica y Catastral de la provincia

ORDEN	PUNTO	LATITUD(SUR)	LONGITUD (OESTE)	NORTE (X)	ESTE (Y)	ALTURA ELIPSOIDAL (h)	COTA (H)	ONDULACION MEDIDA (N)
61	4-CAPI	27°27'43,081866"	64°12'17,881603"	6928261.002	4367278.229	236.933	211.017	25.916

Finalmente, en la Figura 8, se presenta un corte de imagen con la ubicación relativa de los 61 puntos medidos, los cuales se utilizarán para cumplir con el objetivo propuesto.

Los puntos provenientes de la RN-Ar se destacan en color rojo, el Nodal con un cuadrado y los PF con círculos. Los 26 puntos descritos en la tabla 2, se representan con círculos color violeta. Por su parte los 17 puntos de la tabla 3, se representan con círculos color verde; en círculos azules se representan los 5 puntos fijos de los canales (tabla 4) y el triángulo amarillo corresponde al punto descrito en la tabla 5, que pertenece a la Red GPS de Referencia Cartográfica y Catastral de la provincia.

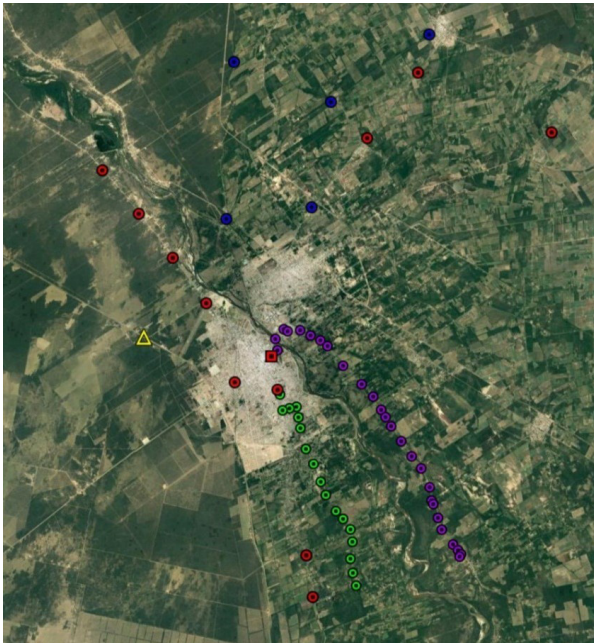


Figura 8. Ubicación de los puntos medidos sobre imagen de Google Earth.

## Metodología

En primera instancia, se llevó a cabo la determinación del método más recomendable de interpolación espacial, para la generación de modelos de ondulaciones geoidales locales dentro de la zona de estudio. Posteriormente, se calcularon las ondulaciones geoidales obtenidas a partir del modelo "Geoi-de-Ar16", utilizando coordenadas geodésicas de los puntos medidos y descriptos anteriormente y de esta forma compararlas con las ondulaciones medidas en los mismos puntos, y en base a ellas poder analizar el comportamiento del "Geoi-de-Ar16" dentro de la zona de estudio.

Para la generación de los modelos se utilizó el *software* Surfer v.10 (*Surface Mapping System de Golden Software Inc.*), en el cual se ingresan los datos en una planilla (Worksheet Windows) donde en las dos primeras columnas se colocan las coordenadas de los puntos generadores y en la tercera columna el dato que se desea modelar, la ondulación geoidal en este caso.

Esta versión del software presenta la opción de doce métodos de interpolación; a su vez, cada método de interpolación permite trabajar con diferentes combinaciones de parámetros intrínsecos de cada uno.

La utilización de un método determinado u otro produce diferentes resultados en la interpolación, al igual que distintas variantes de cálculo dentro de un mismo método. En consecuencia, cualquier mejora en el proceso de interpolación redundará en una mejora del modelo generado.

Teniendo en cuenta lo establecido anteriormente, para llevar a cabo la generación de los modelos, se trabajó considerando los métodos más óptimos para interpolación de ondulaciones geoidales en la provincia de Santiago del Estero según Goldar (2015), aplicando en cada uno sus parámetros estándar de interpolación, los cuales se resumen en la Tabla 6.

Método de Interpolación	Parámetros Estándar de Interpolación
Triangulación con Interpolación Lineal	Razón de anisotropía: 1 Dirección de anisotropía: 0°
Vecino Natural	Razón de anisotropía: 1 Dirección de anisotropía: 0°
Mínima Curvatura	Residual Máximo: 0.0027 Iteración Máxima: 100000 Tensión interna: 0 Tensión límite: 0 Factor de Relajación: 1 Razón de anisotropía: 1
Kriging	Semi-variograma: Lineal Razón de anisotropía: 1 Dirección de anisotropía: 0° Pendiente de variograma: 1
Vecino más Cercano	Radio 1 de elipse de búsqueda: 51100 Radio 2 de elipse de búsqueda: 51100 Ángulo de elipse de búsqueda: 0
Promedios Ponderados por Inversa de la Distancia	Potencia de ponderación: 2 Factor de suavizado: 0 Razón de anisotropía: 1 Dirección de anisotropía: 0°
Medias Móviles	Número mínimo de puntos: 1 Radio 1 de elipse de búsqueda: 25600 Radio 2 de elipse de búsqueda: 25600 Ángulo de elipse de búsqueda: 0

Tabla 6. Métodos y parámetros de interpolación

## Validación de los modelos

Cada uno de los modelos generados fue sometido a un proceso de validación cruzada "dejando uno fuera". Dicha validación se realizó con *Surfer*, *software* que permite definir la cantidad de puntos que utilizará en el proceso de validación.

En el caso que se defina validar con menos puntos del total, el programa utiliza un generador de números pseudoaleatorios que se inicializa al azar para cada ejecución, hasta alcanzar el número de puntos que se haya definido. Además, el subconjunto aleatorio se determina sin reemplazo, por lo tanto, el subconjunto aleatorio será diferente en cada ejecución de la validación cruzada.

Cabe aclarar que aun cuando se decida validar con el subconjunto aleatorio, el set completo de datos se utiliza en todo el proceso de validación cruzada. El subconjunto aleatorio se limita a identificar los lugares en los que se calculan los errores de validación cruzada. Es decir, si se define un número de puntos menores al total y se repite el proceso, la validación puede arrojar resultados diferentes. Por ello se utilizó la totalidad de los puntos generadores del modelo, para el proceso de validación.

Cada validación entrega un reporte de los estadísticos resultantes en dicha operación. En el mismo, se resume toda la información sobre el método y los parámetros utilizados para el grillado y los puntos de la validación. De todos estos estadísticos, los más representativos de los resultados e indicadores de la calidad del modelo evaluado, son los que corresponden a los errores estándar de la estimación de la variable modelada  $Z$  (ondulación geoidal en este caso), con su correspondiente coeficiente de variación u oscilación y los errores estándar de los residuales de la estimación. Por ello, estos estadísticos, en el orden enunciado, son los utilizados para evaluar y determinar los mejores métodos y sus respectivas variantes óptimas de

cálculo (Goldar, Gerez y Gutiérrez, 2018).

En términos estrictamente estadísticos, el error estándar de la media es el error debido a la estimación de la media poblacional a partir de las medias muestrales. En este caso un valor medio de los errores determinados con la ecuación 2, es decir, la media de las diferencias entre el valor estimado por interpolación y el valor medido en cada punto de la validación cruzada, que se calcula con la ecuación 3. Este indicador de la precisión de los puntos interpolados se utilizó para comparar los resultados de los métodos de interpolación.

Por su parte el coeficiente de variación es una medida de dispersión relativa de los datos, en este caso de los errores de estimación. Se obtiene de la relación entre la desviación típica muestral y la media muestral; suele multiplicarse por 100 para que el resultado sea una relación porcentual. Su utilidad estriba en que nos permite comparar la dispersión o variabilidad de dos o más grupos, en este caso, la dispersión de los errores de los diferentes modelos. En general para trabajos con datos de campo se considera que valores del  $C_v$  de hasta 0,05 (5%) son muy buenos, entre 0,05 (5%) y 0,15 (15%) buenos y aceptables hasta 0,2 (20%).

Finalmente, los residuales dan una medida cuantitativa de la bondad del ajuste del archivo de la cuadrícula generada, con respecto a los datos originales. Por ello, el error estándar de los residuales de la estimación puede utilizarse como la tercera opción de selección, de un método o variante sobre otra, cuando estas variantes tienen similares valores de errores estándar de estimación y coeficiente de variación.

## Resultados

Se compararon los errores de validación obtenidos en cada proceso, los cuales fueron extraídos del reporte, es decir, el error de validación cruzada "dejando uno fuera" para cada uno de los siete modelos,  $C_v$  es el coeficiente de variación de la variable estimada,  $eZ$  es el error estándar en la estimación de la variable y  $eR$  es el error estándar de los residuales de la variable estimada. Las unidades de los errores son los mismos que los de la variable ondulación geoidal, metros en este caso, en tanto el coeficiente de variación es una determinación porcentual, considerando el valor 1 como el 100%.

Los resultados se presentan en la Tabla 7, donde se resumen los valores estadísticos obtenidos en los procesos de validación a los que se sometieron cada uno de los modelos generados con diferentes métodos y parámetros de interpolación estándar presentados en la Tabla 6.

Método de interpolación	CV (%)	ez (m)	eR (m)
Triangulación con Interpolación Lineal	0,014	0,048	0,054
Vecino Natural	0,015	0,053	0,055
Mínima Curvatura	0,025	0,079	0,038
Kriging	0,019	0,059	0,057
Vecino más Cercano	0,021	0,066	0,069
Promedios Ponderados por Inversa de la Distancia	0,012	0,037	0,063
Medias Móviles	0,004	0,014	0,067

Tabla 7. Estadísticos para comparación de resultados

Para una mejor visualización de las diferencias, y poder realizar una mejor comparación, en la Figura 9 se muestra la gráfica de los estadísticos resultantes en cada método.



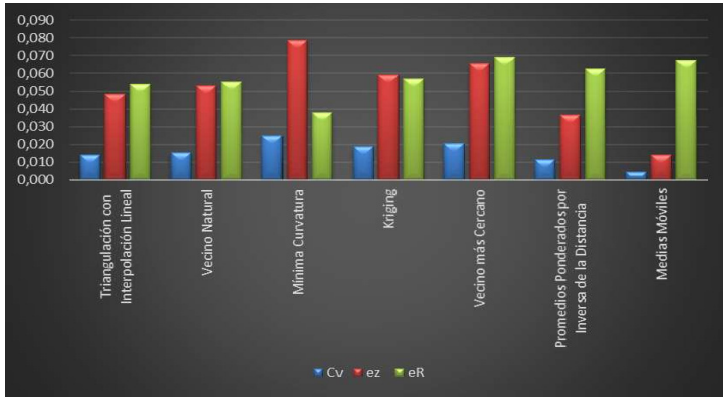


Figura 9. Gráfica de los indicadores estadísticos para los métodos ensayados.

A partir del análisis de la Tabla 7 y de la Figura 9 se puede decir que todos los métodos de acuerdo al coeficiente de variación ( $C_v$ ) se encuentran por debajo del 5%, los cuales son muy buenos para trabajos con datos de campo. Considerando conjuntamente el  $e_z$  y el  $e_R$ , se puede decir que la suma entre ambos es similar para todos los casos y como, según Goldar (2015), 2 centímetros no es diferencia significativa, entonces se los puede considerar prácticamente equivalentes si se encuentran por debajo de ese valor.

Además, teniendo en cuenta que, dentro de los resultados con suma  $e_z + e_R$  equivalentes, resultan mejor ajustados aquellos en los que  $e_R$  es el menor porcentaje del  $e_z$  respectivo, resulta en este caso que el mejor método de interpolación espacial para la zona de estudio es el de Mínima Curvatura, con un  $e_z = 0,079$  y el  $e_R = 0,038$  que es prácticamente la mitad de  $e_z$ . El método de medias móviles presenta un  $e_z = 0,014$  y un  $e_R = 0,067$ , casi 5 veces el error de estimación; esto hace que quede fuera de consideración.

En un segundo nivel se encuentra Kriging y en un tercer

nivel Triangulación con Interpolación Lineal y Vecino Natural.

### **Evaluación del "GEOIDE-Ar16" en la zona de estudio**

A continuación, se presentan los cálculos de ondulaciones geoidales a partir del modelo "Geoide-Ar16" utilizando coordenadas geodésicas de los puntos medidos y descriptos en fuente de datos.

También se analizan las diferencias entre las ondulaciones obtenidas por medio del modelo "Geoide-Ar16" y las obtenidas a partir de las mediciones de los puntos estudiados. Así, con base en este análisis, se busca poder determinar el comportamiento y grado de precisión del "Geoide- Ar16" dentro de la zona de estudio.

La herramienta Web GEOIDE-Ar16 permite la determinación de ondulaciones geoidales de puntos localizados sobre la superficie de la República Argentina. Estas ondulaciones permiten transformar alturas elipsoidales referidas al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR07 en alturas ortométricas (H) referidas al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16) exclusivamente.

Para ejecutar la aplicación calculadora *online* (Figura 10), se deben introducir las coordenadas de los puntos en decimal de grado, utilizando al punto (".") como separador decimal. Se deberán utilizar signos negativos en los valores de latitud y longitud ingresados para indicar que los puntos están ubicados al sur del ecuador y al oeste del meridiano de Greenwich.

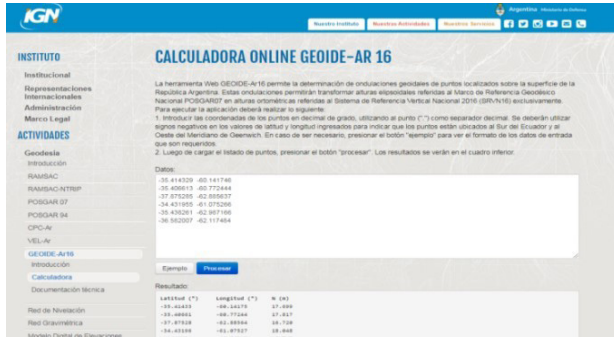


Figura 10. Interfaz de página web del IGN para cálculo de ondulaciones geoidales.

Los resultados, expresados en metros, se presentan en la Tabla 8, en la cual se pueden apreciar las ondulaciones geoidales de cada punto, obtenidas a través del GEOIDE-Ar16 y las obtenidas mediante las mediciones de campo.

Para llevar a cabo el análisis, se trabajó estudiando las diferencias desde dos puntos de vista: uno estrictamente estadístico, teniendo en cuenta los valores de las diferencias obtenidas con sus correspondientes signos, y el otro teniendo en cuenta los valores absolutos de las diferencias, en virtud de que al tratarse de comparación de alturas donde las diferencias en uno u otro sentido son de igual importancia.

ORDEN	PUNTO	N GEOIDE-Ar16	N MEDIDO	$\Delta N$ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)	$ \Delta N $ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)
1	NODAL 184	24,877	24,790	-0,087	0,087
2	PF14 n(141)A	25,311	25,402	0,091	0,091
3	PF15 n(141)A	25,221	25,330	0,109	0,109
4	PF16 n(141)A	25,137	25,202	0,065	0,065
5	PF17 n(141)A	25,048	25,134	0,086	0,086
6	PF1 N(183)	24,962	24,836	-0,126	0,126
7	PF1 N(182)	24,854	24,718	-0,136	0,136
8	PF5 N(182)	24,761	24,773	0,012	0,012
9	PF6 N(182)	24,751	24,692	-0,059	0,059
10	PF7 N(198)	24,724	24,705	-0,019	0,019
11	PF9 N(198)	24,696	24,666	-0,030	0,030
12	PF27 N(301)	24,562	24,462	-0,100	0,100
13	RBLS	24,514	24,440	-0,074	0,074
14	487	24,513	24,190	-0,323	0,323
15	488	24,517	23,980	-0,537	0,537
16	489	24,523	24,470	-0,053	0,053
17	490	24,537	24,440	-0,097	0,097
18	491	24,542	24,460	-0,082	0,082
19	492	24,549	24,490	-0,059	0,059
20	493	24,552	24,300	-0,252	0,252
21	494	24,555	24,960	0,405	0,405
22	495	24,569	24,530	-0,039	0,039
23	496	24,584	24,650	0,066	0,066
24	497	24,602	24,610	0,008	0,008
25	498	24,620	25,120	0,500	0,500
26	499	24,632	24,980	0,348	0,348
27	500	24,641	25,000	0,359	0,359
28	501	24,656	24,150	-0,506	0,506
29	502	24,680	25,080	0,400	0,400
30	503	24,720	24,440	-0,280	0,280
31	504	24,755	24,820	0,065	0,065

32	505	24,771	24,520	-0,251	0,251
33	506	24,795	24,910	0,115	0,115
34	507	24,820	25,300	0,480	0,480
35	MISKI	24,847	24,750	-0,097	0,097
36	CURVA	24,856	24,790	-0,066	0,066
37	PUENTE	24,873	24,590	-0,283	0,283
38	AGUIRRE	24,866	24,540	-0,326	0,326
39	PF 2	24,848	24,425	-0,423	0,423
40	PF 3	24,839	24,434	-0,405	0,405
41	PF 4	24,826	24,419	-0,407	0,407
42	PF 5	24,812	24,429	-0,383	0,383
43	PF 6	24,805	24,422	-0,383	0,383
44	PF 7	24,797	24,859	0,062	0,062
45	PF 8	24,779	24,702	-0,077	0,077
46	PF 9	24,758	24,650	-0,108	0,108
47	PF 10	24,738	24,548	-0,190	0,190
48	PF 11	24,724	24,587	-0,137	0,137
49	PF 12	24,702	24,575	-0,127	0,127
50	PF 13	24,688	24,549	-0,139	0,139
51	PF 14	24,675	24,523	-0,152	0,152
52	PF 15	24,671	24,652	-0,019	0,019
53	PF 16	24,675	24,574	-0,101	0,101
54	PF 17	24,671	24,545	-0,126	0,126
55	PF 18	24,667	24,997	0,330	0,330
56	CC 9	24,787	26,312	1,525	1,525
57	CC17-CD 11	24,703	26,348	1,645	1,645
58	CN 1	24,989	26,468	1,479	1,479
59	CN 20	24,985	26,659	1,674	1,674
60	CD 1	24,791	26,378	1,587	1,587
61	4-CAPI	24,906	25,916	1,010	1,010

Tabla 8. Diferencia de ondulaciones geoidales  $\Delta N$  y  $|\Delta N|$

## Discusión de resultados

Para analizar los resultados obtenidos, se calcularon estadísticas de las diferencias, específicamente el valor medio y su correspondiente desvío estándar. Aplicando las siguientes fórmulas para dichas determinaciones.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Valor Promedio:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

Desviación Estándar:

La desviación estándar es una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio. Dicho de otra manera, la desviación estándar es la variación con respecto a la media aritmética.

Se realizaron los cálculos estadísticos desde ambos puntos de vista, es decir, desde el análisis de las diferencias con su correspondiente signo y la otra considerando el valor absoluto de las mismas, observando que se obtienen diferentes resultados. Esto ocurre debido a que, al estar comparando diferencias de alturas, debemos tener en cuenta que al tomar los valores con sus respectivos signos se pueden cometer errores al determinar el promedio y la desviación estándar, ya que estos valores se pueden restar y hasta cancelar. Con estas operaciones, se estarían pasando por alto errores significativos y no se vería correctamente el valor medio de la diferencia, así como el grado de dispersión de los datos con respecto al promedio, tal como expresa la definición de desviación estándar.

En la Tabla 9 se muestran el promedio, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos correspondientes a las diferencias de las ondulaciones geoidales analizadas, sin considerar y considerando los valores absolutos de las diferencias.

	$\Delta N$ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)	$ \Delta N $ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)
PROMEDIO	-0,088	0,319
DESVIACION ESTANDAR	0,523	0,421
MINIMO	-0,537	0,008
MAXIMO	1,674	1,674

Tabla 9. Estadísticos de las diferencia de ondulaciones geoidales  $\Delta N$  y  $|\Delta N|$

Para una mejor visualización de las diferencias, se confeccionaron las dos gráficas de las diferencias, con su respectivo signo (Figura 11) y las mismas con valor absoluto (Figura 12).



Figura 11. Gráfico de diferencia entre ondulaciones ( $\Delta N$ ).

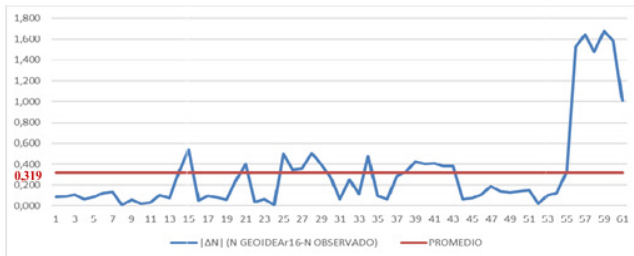


Figura 12. Gráfico de diferencia entre ondulaciones ( $|\Delta N|$ ).

En cuanto a los cálculos estadísticos, de la comparación de los valores medios resulta claramente que no es conveniente adoptar la opción del valor medio estrictamente estadístico, es decir, con su signo. Esto es así dado que, como se advierte en este caso, el valor medio de las diferencias es  $-0.088\text{m}$ , el cual es un valor muy pequeño comparado con los valores de las diferencias de cada punto; en otras palabras, se cancelaron los valores de diferente signo, pues, al estar trabajando con diferencias de alturas, es tan importante "errar" por defecto que como por exceso. Además, la desviación estándar no estaría cumpliendo con su definición, que es representar el grado de dispersión de los datos con respecto al valor medio de las diferencias. Por ello, el análisis en valor absoluto resulta más ajustado a la realidad cuando se trata de comparar alturas.

Por otro lado, analizando los valores que figuran en las tablas y en las figuras, se puede apreciar claramente que hay puntos que presentan diferencias grandes con respecto al resto; esto hace suponer que podría tratarse de valores anómalos o atípicos, los cuales, al ser incluidos en la muestra para el análisis, afectan a los resultados. Existen muchas pruebas estadísticas diseñadas para detectar este tipo de valores.

### **Criterio para rediseñar la muestra**

Con base en lo expuesto anteriormente, se decidió establecer un criterio para llevar a cabo un nuevo análisis sin considerar los puntos que presentan diferencias demasiado significativas con respecto al resto. Para ello, se trabajó considerando las diferencias en valor absoluto, con base al promedio y a la desviación estándar de la muestra y se determina hasta qué valor máximo se admitirán las diferencias de los puntos. Es decir,  $0,319\text{ m} + 0,421\text{ m} = 0,741\text{ m}$ . Entonces, en aquellos puntos



cuya diferencia de ondulaciones geoidales se encuentren por encima de este valor, no serán tenidas en cuenta para un nuevo análisis. Con este criterio definido, los seis puntos rechazados que no serán tenidos en cuenta se muestran en la Tabla 10.

ORDEN	PUNTO	N GEOIDE-Ar16	N MEDIDO	$\Delta N$ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)	$ \Delta N $ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)
56	CC 9	24,787	26,312	1,525	1,525
57	CC17-CD 11	24,703	26,348	1,645	1,645
58	CN 1	24,989	26,468	1,479	1,479
59	CN 20	24,985	26,659	1,674	1,674
60	CD 1	24,791	26,378	1,587	1,587
61	4-CAPI	24,906	25,916	1,010	<b>1,010</b>

Tabla 10. Puntos rechazados

Con relación a esto, los puntos considerados para un nuevo análisis son los 55 puntos (ver Tabla 11), con lo cual se redefine la muestra y se denota la variable como  $\Delta N'$ .

ORDEN	PUNTO	N GEOIDE-Ar16	N MEDIDO	$\Delta N'$ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)	$ \Delta N' $ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)
1	NODAL 184	24,877	24,790	-0,087	0,087
2	PF14 n(141)A	25,311	25,402	0,091	0,091
3	PF15 n(141)A	25,221	25,330	0,109	0,109
4	PF16 n(141)A	25,137	25,202	0,065	0,065
5	PF17 n(141)A	25,048	25,134	0,086	0,086
6	PF1 N(183)	24,962	24,836	-0,126	0,126
7	PF1 N(182)	24,854	24,718	-0,136	0,136
8	PF5 N(182)	24,761	24,773	0,012	0,012
9	PF6 N(182)	24,751	24,692	-0,059	0,059
10	PF7 N(198)	24,724	24,705	-0,019	0,019
11	PF9 N(198)	24,696	24,666	-0,030	0,030
12	PF27 N(301)	24,562	24,462	-0,100	0,100
13	RBLS	24,514	24,440	-0,074	0,074

14	487	24,513	24,190	-0,323	0,323
15	488	24,517	23,980	-0,537	0,537
16	489	24,523	24,470	-0,053	0,053
17	490	24,537	24,440	-0,097	0,097
18	491	24,542	24,460	-0,082	0,082
19	492	24,549	24,490	-0,059	0,059
20	493	24,552	24,300	-0,252	0,252
21	494	24,555	24,960	0,405	0,405
22	495	24,569	24,530	-0,039	0,039
23	496	24,584	24,650	0,066	0,066
24	497	24,602	24,610	0,008	0,008
25	498	24,620	25,120	0,500	0,500
26	499	24,632	24,980	0,348	0,348
27	500	24,641	25,000	0,359	0,359
28	501	24,656	24,150	-0,506	0,506
29	502	24,680	25,080	0,400	0,400
30	503	24,720	24,440	-0,280	0,280
31	504	24,755	24,820	0,065	0,065
32	505	24,771	24,520	-0,251	0,251
33	506	24,795	24,910	0,115	0,115
34	507	24,820	25,300	0,480	0,480
35	MISKI	24,847	24,750	-0,097	0,097
36	CURVA	24,856	24,790	-0,066	0,066
37	PUENTE	24,873	24,590	-0,283	0,283
38	AGUIRRE	24,866	24,540	-0,326	0,326
39	PF 2	24,848	24,425	-0,423	0,423
40	PF 3	24,839	24,434	-0,405	0,405
41	PF 4	24,826	24,419	-0,407	0,407
42	PF 5	24,812	24,429	-0,383	0,383
43	PF 6	24,805	24,422	-0,383	0,383

44	PF 7	24,797	24,859	0,062	0,062
45	PF 8	24,779	24,702	-0,077	0,077
46	PF 9	24,758	24,650	-0,108	0,108
47	PF 10	24,738	24,548	-0,190	0,190
48	PF 11	24,724	24,587	-0,137	0,137
49	PF 12	24,702	24,575	-0,127	0,127
50	PF 13	24,688	24,549	-0,139	0,139
51	PF 14	24,675	24,523	-0,152	0,152
52	PF 15	24,671	24,652	-0,019	0,019
53	PF 16	24,675	24,574	-0,101	0,101
54	PF 17	24,671	24,545	-0,126	0,126
55	PF 18	24,667	24,997	<b>0,330</b>	<b>0,330</b>

Tabla 11. Diferencia de ondulaciones geoidales  $\Delta N'$  y  $|\Delta N'|$ 

En la Tabla 12 se muestran los nuevos valores estadísticos con base en el criterio establecido, el promedio, la desviación estándar, los valores máximos y mínimos correspondientes a las diferencias analizadas de la nueva variable sin considerar y considerando los valores absolutos de las diferencias.

	$\Delta N'$ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)	$ \Delta N' $ (N GEOIDEAr16-N OBSERVADO)
PROMEDIO	0,065	0,192
DESVIACIÓN ESTÁNDAR	0,239	0,155
MÍNIMO	-0,500	0,008
MÁXIMO	0,537	0,537

Tabla 12. Estadísticos de las diferencia de ondulaciones geoidales  $\Delta N'$  y  $|\Delta N'|$ 

Nuevamente, para visualizar mejor las diferencias, se confeccionaron las dos gráficas de las diferencias, con su respectivo signo (Figura 13) y las mismas con valor absoluto (Figura 14).



Figura 13. Gráfico de diferencia entre ondulaciones ( $\Delta N'$ ).

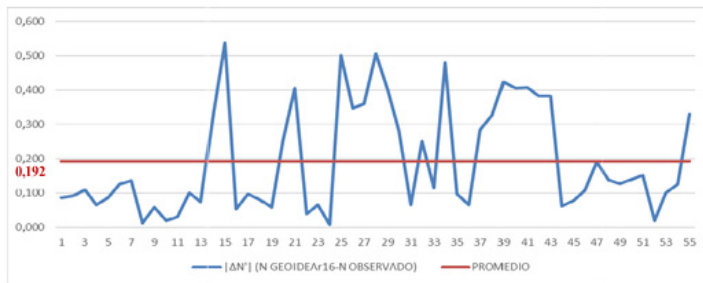


Figura 14. Gráfico de diferencia entre ondulaciones ( $|\Delta N'|$ ).

Los valores expresados en la Tabla 12 reflejan cambios significativos con respecto a la Tabla 9: la desviación estándar ( $s$ ) disminuye de 0,421 m a 0,155 m, lo que significa que los puntos eliminados incrementaban la variabilidad en la serie de datos

### Generación de modelos de ondulación geoidal locales

Para el modelado se trabajó con Surfer, considerando los 55 puntos de la Tabla 11, aplicando el método de Mínima Curvatura y utilizando sus parámetros estándar de interpolación (ver Tabla 6), ya que se determinó que es el método más recomendable para llevar a cabo la interpolación de ondulaciones de la

superficie geoidal en la zona de estudio. Este método genera superficies lisas y es rápido para la mayoría de los conjuntos de datos, pero puede crear diferencias de gran magnitud en las zonas donde no hay datos. La tensión interna y la tensión límite permiten el control sobre la cantidad de suavizado. Este método puede extrapolar valores Z más allá del rango de los datos.

Para la aplicación de este método hay que definir el máximo residual, el número máximo de iteraciones, factor de relación, tensión interna y tensión límite.

El máximo residual es un valor que se establece por lo general en un 10% de la precisión de los datos. Si se deja el valor por defecto, el *software* lo calcula como la milésima parte de la diferencia entre el máximo y el mínimo de la variable Z, que es la ondulación geoidal en este caso.

Considerando que, cuanto mayor es la tensión, menor es la curvatura, los parámetros de tensión interna y tensión límite normalmente se fijan en cero por defecto y pueden variar hasta un valor menor a 1.

En definitiva, al interpolar con mínima curvatura se asegura continuidad en elevación, es decir, la superficie no tenga picos; continuidad en gradiente, o sea, que la superficie no tenga cambios de pendiente abruptos, y continuidad en curvatura, con lo que se logra que la superficie posea mínima curvatura (Goldar, Gerez y Gutiérrez, 2018).

En la Figura 15 se representa un modelo de ondulaciones geoidales local generado con las ondulaciones puntuales medidas, donde se pueden apreciar los 55 puntos utilizados para la generación (puntos azules), también las isolíneas de ondulaciones geoidales con una equidistancia de 10 centímetros, con su correspondiente escala de colores.

Por otro lado, en la Figura 16 se utilizan los mismos puntos generadores del modelo, pero considerando las ondulaciones geoidales obtenidas mediante la calculadora online de "GEOIDEAR-16", donde se pueden apreciar los 55 puntos utilizados

para la generación, también las isolíneas de ondulaciones geoidales con una equidistancia de 10 centímetros, con su correspondiente escala de colores.

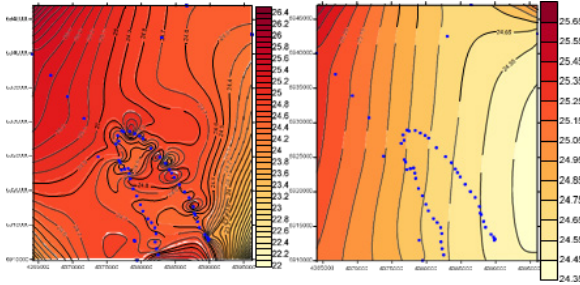


Figura 15. Modelo generado con las ondulaciones medidas. Figura 16. Modelo generado con las ondulaciones obtenidas mediante la calculadora de "GEOIDEAr-16".

Finalmente, las Figuras 17 y 18 representan el modelado de las diferencias de ondulaciones obtenidas a través de GeoideAr16 y las medidas con su correspondiente signo ( $\Delta N'$ ) y en valor absoluto ( $|\Delta N'|$ ), respectivamente. Aquí se pueden apreciar los 55 puntos utilizados para la generación y también las isolíneas de las diferencias de ondulaciones geoidales con una equidistancia de 10 centímetros, con su correspondiente escala de colores.

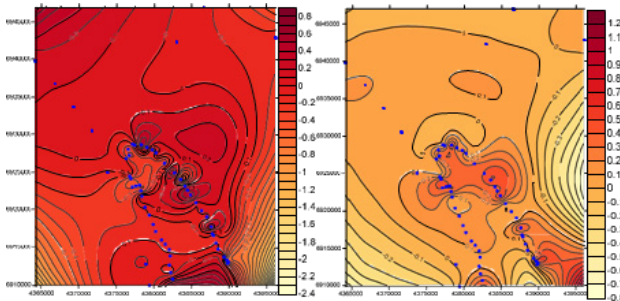


Figura17. Modelo de diferencia entre ondulaciones ( $\Delta N'$ ). Figura18. Modelo de diferencia entre ondulaciones ( $|\Delta N'|$ ).

## Conclusiones

Con base en los ensayos realizados, se determinó, en primer lugar, que el método de interpolación espacial más recomendable para la generación de modelos de ondulaciones geoidales dentro de la zona de estudio es el método de Mínima Curvatura con un  $C_v = 0,025$  (2,5%), valor que se considera muy bueno para trabajos con datos de campo, con  $e_z = 0,079$  y  $e_R = 0,038$ . En un segundo nivel, se encuentra Kriging y, en un tercer nivel, Triangulación con Interpolación Lineal y Vecino Natural.

En cuanto a la evaluación del modelo de geoide argentino "GEOIDAr-16", el análisis de las diferencias ( $\Delta N = N_{\text{GEOIDAr16}} - N_{\text{MEDIDO}}$ ) de dos maneras, considerando o no sus respectivos signos, permitió establecer que el análisis más objetivo y criterioso es aquel que se realiza considerando las diferencias en valor absoluto, ya que de esta forma se conserva la magnitud de las diferencias, pues de la otra manera se producen cancelaciones que llevan a conclusiones erróneas.

Con base en los 55 puntos analizados, considerando sus diferencias en valor absoluto ( $|\Delta N| = N_{\text{GEOIDAr16}} - N_{\text{OBSERVADO}}$ ) y teniendo en cuenta los resultados obtenidos, se puede decir que GEOIDE-Ar16 tiene un comportamiento y un grado de precisión del orden de entre los 2 y 3 decímetros, compatible con la exactitud estimada del modelo nacional.

Finalmente, se puede establecer una aplicabilidad segura dentro de los 35 cm (0,347 metros), valor que resulta de considerar la media aritmética y la desviación estándar (0,192 m + 0,155 m) de las diferencias entre ondulaciones geoidales locales medidas y las obtenidas con "GEOIDAr-16".

## Bibliografía

- Del Cogliano, Daniel (2006). Modelado del geoide con GPS y gravimetría. Caracterización de la estructura geológica de Tandil. Tesis (Doctoral). Rosario (Argentina): Universidad Nacional de Rosario.
- Ginzo Villamayor, María José (2014). "Análisis geoestadístico de datos funcionales". Proyecto de fin de Máster en Técnicas Estadísticas [en línea]. España: Universidades de Santiago de Compostela, La Coruña y Vigo.
- Goldar, José Eduardo (2015). Optimización del proceso de interpolación en modelos de ondulaciones de la superficie geoidal para Santiago del Estero. Tesis (Doctoral). Catamarca (Argentina): Universidad Nacional de Catamarca.
- Goldar, José Eduardo; Gerez, Gonzalo Norberto y Gutiérrez Carlos Alfredo (2015). "Evaluación comparativa de dos métodos de validación para interpolación de ondulaciones de la superficie geoidal". *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA VOLUMEN X*. (1), pp. 690-696.
- Goldar, José Eduardo; Gerez, Gonzalo Norberto y Gutiérrez, Carlos Alfredo (2018). *Optimización del proceso de interpolación de ondulaciones del geoide. Experiencias para Santiago del Estero, Argentina*. Saarbrücken (Alemania): Editorial Académica Española.
- Heiskanen, Weikko Aleksanteri y Moritz, Helmut (1967). "Physical geodesy". *Bulletin Géodésique*. 86 (1), pp. 491-492
- Hofmann-Wellenhof, Bernhard y Moritz, Helmut. (2006). *Physical Geodesy*. Berlin: Springer.
- IGN. Instituto Geográfico Nacional ([www.ign.gov.ar](http://www.ign.gov.ar)).
- Lauría, Eduardo y Groer, María Graciela (s.d.). "Geodesia III". *Alturas [en línea]*. Buenos Aires: Departamento de Agrimensura, Facultad de Ingeniería, UBA.
- Martínez Toro, Eladio Enrique (2014). Determinación de un modelo de geoide gravimétrico para Puerto Rico como sistema de referencia para las altitudes ortométricas. Tesis (Doctoral). Madrid (España): Universidad Politécnica de Madrid.



- Mayer, Federico (2002). "Posibilidades de mejorar el sistema altimétrico argentino". *Temas de Geociencias*. (10), pp. 3-15.
- Pacino, María Cristina (2006). "Aplicaciones de la información de las estaciones permanentes en relevamientos altimétricos". En *Taller Regional de Estaciones Permanentes*. Córdoba, Argentina.
- Rodríguez, Oldemar (2013). "Programa Iberoamericano en formación de minería de datos". *Validación Cruzada (cross-validation) y Remuestreo (bootstrapping) [en línea]*. San José (Costa Rica): Universidad Autónoma de Centro América.
- Sánchez, Laura (2005). "Sistema de referencia geocéntrico para las Américas, Grupo de trabajo III: Datum vertical". *Reporte 2005 [en línea]*. Caracas: SIRGAS.
- Zakatov, P.S. (1981). "Alturas". En *Curso de Geodesia Superior* (pp. 396 a 430) ( José Abel Báez trad.) Alcalá (Madrid, España): Rubiños 1860.

# PROPUESTA TECNOLÓGICA, CONCEPTUAL Y METODOLÓGICA ORIENTADA AL TRABAJO COLABORATIVO Y GESTIÓN DEL CONOCIMIENTO EN ÁMBITOS EDUCATIVOS PARA EL DESARROLLO DE COMPETENCIAS SOCIALES Y CULTURALES

MABEL SOSA<sup>1</sup>; RICARDO CORDERO<sup>2</sup>, LEDA DIGIÓN<sup>3</sup>,  
SARITHA FIGUEROA<sup>4</sup>, IVANA MALDONADO<sup>5</sup>, CARMEN SILVA<sup>6</sup>,  
ISABEL VELÁZQUEZ<sup>7</sup>

## Resumen

En este capítulo se describen las líneas de investigación y los

1 Directora del proyecto. Magíster en Ingeniería del Software. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

2 Especialista en Educación Superior. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

3 Magíster Ingeniería del Software. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

4 Especialista en Educación Superior. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

5 Licenciada en Sistemas de Información. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

6 Especialista en Docencia Universitaria. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

7 Especialista en Educación Superior. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).

resultados alcanzados en un programa de investigación en el que se extrapolan los conceptos informáticos de colaboración y cooperación para dotarlo de competencias transdisciplinares que favorezcan la recreación y elaboración de productos conceptuales, metodológicos y técnicos en el ámbito de la disciplina *Interacción Hombre-Computador*. Los problemas abordados en este programa confluyen en sus identificaciones y se explicitan en sus objetivos, definidos en el marco de ciertas miradas teórico-metodológicas compatibles sobre la disciplina y sus potencialidades. Se plantea la continuidad de trabajos de investigación anteriores mientras se complejiza el tratamiento de la Interacción Hombre Computador al integrar temas humanos y culturales que tiendan al logro de una simbiosis entre el lenguaje humano y el lenguaje máquina mediante la construcción de interfaces que promuevan capacidades sociocognitivas indispensables en las personas para hacer frente a la creciente complejidad de la sociedad del siglo XXI. La preocupación común es comprender la necesaria y pertinente articulación entre el lenguaje humano y el lenguaje máquina desde una perspectiva epistemológica, humana y cultural, que permita construir un marco conceptual y referencial que fundamente la toma de decisiones a nivel técnico. La investigación pretende superar un enfoque exclusivamente técnico, mediante el estudio de la simbiosis de los aspectos humanos y técnicos que favorezca la construcción de interfaces orientadas a potenciar la creatividad y criticidad como capacidades exclusivamente humanas. Específicamente, se proponen métodos e instrumentos que guíen el diseño, el desarrollo y la evaluación de interfaz de usuario, siguiendo criterios de usabilidad y efectividad que permitan la innovación en ámbitos educativos. Para esto, se ha indagado sobre los aspectos humanos, neurobiológicos, psicológicos, sociales y culturales y aspectos técnicos tales como la usabilidad y accesibilidad, que intervienen en el comportamiento de las personas cuando

trabajan y estudian haciendo uso del computador.

Palabras clave: Interacción Hombre Computador; trabajo colaborativo; Gestión del conocimiento

## **Abstract**

This chapter describes the lines of research and the results achieved in a research program that extrapolates collaborative and cooperation computing concepts to equip it with transdisciplinary competencies that favor the recreation and elaboration of conceptual, methodological, and technical products in the field of the discipline Human-Computer Interaction.

The addressed problems in this program converge in their identifications and are explicit in their objectives, defined in the framework of certain theoretical-methodological approaches compatible with discipline and its potentialities. The continuity of previous research work is proposed while the treatment of the Human-Computer Interaction is complicated by integrating human and cultural issues that tend to achieve a symbiosis between human language and machine language through the construction of interfaces that promote indispensable sociocognitive capacities in people to cope with the growing complexity of 21st-century society. The common concern is to understand the necessary and relevant articulation between human language and machine language from an epistemological, human and cultural perspective, which allows building a conceptual and referential framework that supports decision-making at the technical level. The research aims to go further than an exclusively technical approach, by studying the symbiosis of human and technical aspects that favor the construction of interfaces aimed at enhancing creativity and criticality as exclusively human capacities.

Specifically, methods and tools are proposed to guide the design, development, and evaluation of the user interface,

following criteria of usability and effectiveness that allow innovation in educational fields. For this purpose, human, neurobiological, psychological, social, and cultural aspects and technical aspects such as usability and accessibility have been investigated, which intervene in the behavior of people when they work and study using the computer.

Keywords: Computer Human Interaction; Collaborative Work; Knowledge Management.

## Introducci3n

El programa de investigaci3n "Propuesta Tecnol3gica, Conceptual y Metodol3gica orientada al Trabajo Colaborativo y gesti3n del Conocimiento en 3mbitos Educativos para el desarrollo de Competencias Sociales y Culturales" se ha ejecutado durante el periodo 2016-2020 en el Instituto de Investigaci3n en Inform3tica y Sistemas de Informaci3n (IISI), de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnolog3as, en la Universidad Nacional de Santiago del Estero. El programa trata dos l3neas de trabajo abordadas mediante dos proyectos a los que mencionaremos como Proyecto A y B. El Proyecto A, "La Interacci3n Hombre-Computador de los Sistemas CSCW Orientados al 3mbito Educativo", c3digo 23/C133, y el Proyecto B, "Implicancias conceptuales interdisciplinarias en la b3squeda de creatividad y criticidad para ambientes colaborativos y distribuidos soportados por computador y mediados por la gesti3n del conocimiento", c3digo 23/C134, se desarrollan en paralelo con el objetivo de favorecer la retroalimentaci3n de los resultados desde un enfoque multidisciplinar, y se centran en las disciplinas Interacci3n Hombre Computador y Ciencias de la Educaci3n, respectivamente.

En el marco de la investigaci3n se abordaron

las siguientes problemáticas:

- Problemas teóricos y prácticos de la interactividad y el diseño de la interfaz en sistemas complejos.
- Identificación de dificultades para la integración de aspectos humanos, sociales y de multitecnología con una interacción usable.
- Reducción de la carga cognitiva cuando se utilizan y aplican sistemas CSCW, mediante una adecuada organización de los elementos de una interfaz de usuario.
- Interfaz de usuarios que no soportan adecuadamente los requisitos de colaboración y cooperación distribuida del sistema.

En la búsqueda de respuesta a las problemáticas mencionadas, en el programa se extrapolan los conceptos informáticos de colaboración y cooperación para dotarlos de competencias multidisciplinares que favorezcan la recreación y elaboración de productos conceptuales, metodológicos y técnicos en el ámbito de la disciplina Interacción Hombre-Computador. La preocupación común es abordar la articulación entre el lenguaje humano y el lenguaje máquina desde una perspectiva epistemológica y cultural para construir un marco conceptual y referencial que fundamente la toma de decisiones a nivel técnico en el ámbito disciplinar "Interacción Hombre Computador".

La interacción en sistemas computacionales implica un proceso muy complejo que debe ser entendido de forma correcta para poder desarrollar un proceso de comunicación eficiente y eficaz. En los últimos años, las formas de interactuar han cambiado, para dar lugar a nuevos paradigmas y estilos de interacción en las interfaces, como consecuencia de la complejidad de los sistemas actuales y las tecnologías exponenciales, nuevos servicios en Internet, convergencia de las TIC, etc.

Actualmente, las nuevas tendencias de "negocio" en la Web y sus aplicaciones en diferentes ámbitos permiten poner a dis-

posición de los usuarios una diversidad de recursos de trabajo, de comunicación, capacitación, formación, etc.

En cuanto a los recursos orientados a la educación, surgen nuevas modalidades y entornos diversos para la formación semipresencial, a distancia y también como complemento de la modalidad presencial, con características particulares y potencialidades que favorecen nuevas formas de interacción y nuevos modos de gestionar el conocimiento. Por otro lado, se encuentran disponibles para las personas de distintos lugares geográficos y con características sociales y culturales propias.

En este sentido, en la construcción de las aplicaciones informáticas interactivas, en especial las orientadas a la educación, es primordial considerar al usuario, es decir, se hace necesario no solo tener en cuenta los requisitos del sistema, desde el punto de vista informático, sino también las necesidades concretas del usuario para que pueda utilizar eficientemente las aplicaciones informáticas. Las necesidades de los usuarios se refieren a los diferentes modos de operar, pensar, conocer, aprender o trabajar, que incluyen capacidades o limitaciones cognitivas y físicas.

El lugar donde ocurren las interacciones es la interfaz de usuario. Esta interfaz es un entorno de aproximación que refleja las propiedades físicas de los que interactúan, las funciones a realizar y las actividades de regulación y control (Laurel, 1990).

Expresado de otra manera, es el punto en el que los seres humanos y las computadoras se ponen en contacto, transmitiéndose mutuamente tanto información, órdenes y datos, como sensaciones, intuiciones y nuevas maneras de ver las cosas (Lorés *et al.*, 2002). La interfaz de usuario constituye un aspecto clave para la usabilidad tendiente a mejorar la calidad del trabajo grupal, en cuanto a coordinación, comunicación, colaboración, etc., en particular en los sistemas colaborativos soportados por computador, aplicados con propósitos educativos.

Concretamente, la usabilidad se entiende como “la eficacia, eficiencia, y satisfacción con la que un producto permite alcanzar los objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico”, según la Organización Internacional de Normalización (ISO 9241-11, 1998). La usabilidad abarca aspectos cognitivos significativos que interceptan con el área de la enseñanza y del aprendizaje en la medida en que incide en el proceso educativo. De allí el interés por comprender los aspectos humanos, para definir modelos de interfaces que se adapten más fácilmente a los modelos cognitivos del hombre, como también los aspectos sociales por el fuerte auge de servicios educativos en web, y las tecnologías que evolucionan permanentemente.

Si la interfaz es el “medio” que facilita la comunicación, la interacción entre dos sistemas de diferente naturaleza como son el ser humano y una máquina genera nuevas preguntas: ¿qué y cómo inciden los aspectos humanos, los sociales, los cognitivos y los culturales en la usabilidad de las interfaces? Si asumimos que la propiedad de “usabilidad” exige conocer y entender al usuario y al contexto en el que se desenvuelve superando las diferencias en cuanto a lenguajes diferentes, verbo-icónico en el caso del ser humano y binario en el caso de la computadora, entonces emerge otra preocupación: ¿cómo lograr que las interfaces centradas en el usuario presenten características de usabilidad tendientes a potenciar la capacidad de aprendizaje de los seres humanos?

En función a los interrogantes de investigación, se desarrolla una propuesta tecnológica innovadora sobre los aspectos de la interacción hombre-computador relacionados con el desarrollo de competencias sociales y culturales, en entornos de trabajo colaborativos, distribuidos, usables y efectivos.

Para esto, se han realizado distintas tareas orientadas, en primer lugar, a la comprensión de cómo los aspectos psicosociales y culturales inciden cuando las personas trabajan con



el computador. En este sentido, se quiere aportar al campo de la "Interacci3n Hombre Computador", "Dise1o Centrado en el Usuario", Trabajo colaborativo soportado por ordenador (CWSC). En segundo lugar, se trabaj3 en el campo de la tecnolog3a, realizando desarrollos tecnol3gicos para comprobar las teor3as obtenidas relacionadas al campo socio educativo. Y, por 3ltimo, se busca lograr la integraci3n de recursos de informaci3n, humanos, inform3ticos y telem3ticos en una estrategia de alcance organizacional que conduzca a la generaci3n de ventajas competitivas en el 3rea acad3mica, mediante un modelo integrado de gesti3n.

La presentaci3n de este trabajo se organiza de la siguiente manera: despu3s de esta introducci3n, se presentan los marcos de referencia disciplinares en los que se fundamenta la propuesta; a continuaci3n, se describe brevemente cada proyecto implicado, se exponen las l3neas de investigaci3n y los resultados obtenidos y, por 3ltimo, se presentan las conclusiones.

## **Marco disciplinar de referencia**

### *Interacci3n Hombre - Computador*

La Interacci3n Hombre Computador (IHC), en ingl3s *Human Computer Interaction* (HCI), es un 3rea de la inform3tica. La ACM (Association for Computing Machinery) la define como la disciplina relacionada con el dise1o, la evaluaci3n y la implementaci3n de sistemas interactivos para el uso de seres humanos y el estudio de los fen3menos m3s importantes con los que est3 relacionado (Lores *et al.*, 2002).

La IHC se encarga de estudiar todo lo referente al *hardware*, el *software* y al efecto de ambos dentro de la interacci3n, los modelos mentales de los usuarios frente al sistema con el cual interact3an, las tareas que desempe1a el sistema y su adaptaci3n a necesidades de los destinatarios, el dise1o dirigido y

centrado en los usuarios —no en la computadora—, así como el impacto organizacional. Además, se destaca que la importancia radica en todo lo concerniente al proceso de sociabilización de la computación, de acuerdo con Muñoz Arteaga *et al.* (2014).

La característica especial de la IHC es su enfoque interdisciplinario, que también hace uso de métodos y teorías de otros campos científicos como la psicología, la sociología y las ciencias del trabajo, el diseño gráfico, la ergonomía, la ingeniería industrial y la informática. Sin embargo, la IHC ha encontrado su lugar dentro de la informática, donde ha experimentado un gran desarrollo debido a diversos factores, entre ellos, la enorme difusión de las computadoras personales, el desarrollo de interfaces gráficas de usuario cada vez más perfeccionadas y la utilización de metáforas. Todo esto proporciona al usuario un contexto familiar que le evita la necesidad de aprender y utilizar conceptos puramente informáticos.

Concretamente, dentro de esta disciplina científica se desarrollan interfaces para sistemas interactivos entre humanos y máquinas. Los objetivos específicos de la IHC son desarrollar o mejorar la seguridad, utilidad, efectividad, eficiencia y usabilidad de los sistemas interactivos. Cuando se habla de sistemas interactivos no se hace referencia solo al *hardware* y al *software*, sino también a todo el entorno físico, social y cultural involucrado en la interacción. Para desarrollar sistemas interactivos de calidad, es decir, con interacciones eficientes, efectivas y seguras, tanto a nivel individual como grupal, se necesita comprender no solo los aspectos tecnológicos, sino también los factores psicológicos, ergonómicos, organizativos y sociales, que explican cómo las personas trabajan y estudian haciendo uso de las computadoras.

Para la construcción de sistemas interactivos se utiliza el diseño orientado o centrado en el usuario, cuyo principal objetivo es diseñar sistemas con características especiales tales

como la usabilidad y la accesibilidad Granollers *et al.*, 2003; Hix *et al.*, 1993; Mayhew, 1999; Nielsen, 2002a; Nielsen, 2003b).

### *Ciencias de la Educaci3n*

De acuerdo con el planteo multidimensional del trabajo que se describe, se asume el fen3meno educativo desde su complejidad considerando su especificidad (solo tiene lugar en el hombre), su temporalidad (ocurre durante toda la vida de las personas y de las sociedades), dial3ctica (proceso continuo y permanente de auto y heteroeducaci3n) y su capacidad de cambio. De estas particularidades, se desprende la exigencia de su abordaje desde una concepci3n constructivista de ciencia definida como "una estructura de orden c3clico e irreducible a toda forma lineal" (Mart3nez Romero y Esparza Olgu3n, 2021), que recubre cuatro grandes conjuntos o niveles, en cada uno de los cuales las disciplinas se relacionan entre s3 de manera diferente.

Piaget (citado por P3rez G3mez, 1978) plantea la agrupaci3n de las ciencias en cuatro grandes grupos: ciencias l3gico-matem3ticas, ciencias f3sicas, ciencias biol3gicas y ciencias psicosociol3gicas, y ubica a las Ciencias de la Educaci3n en el intersticio de los cuatro conjuntos de ciencias, defini3ndolas como "un sistema abierto de comunicaci3n".

Desde este punto de vista, las Ciencias de la Educaci3n constituyen un conjunto de disciplinas interesadas en el estudio cient3fico de los distintos aspectos de la educaci3n en sociedades y culturas determinadas. Ellas estudian, describen, analizan, explican, comprenden y comparan el fen3meno educativo en sus m3ltiples aspectos.

En palabras de P3rez G3mez, "las Ciencias de la Educaci3n cumplen, al mismo tiempo, una funci3n de innovaci3n, de creaci3n, de provocaci3n de nuevas situaciones y nuevas re-

laciones entre los elementos de cualquier estructuración real” (Pérez Gómez, 1978, p. 107).

Las Ciencias de la Educación son, pues, el marco conceptual y referencial apropiado para el estudio de las posibilidades de compatibilizar el lenguaje humano y el lenguaje de máquina mediante la interfaz de usuario (IU). La IU es el espacio de interacción entre persona y computador, donde los mecanismos de comunicación hombre-máquina deben orientarse a promover capacidades tales como la metacognición, criticidad y creatividad en las personas. Dicho marco de referencia permitiría una aproximación comprensiva, fenomenológica, capaz de aprovechar los más diversos métodos y procedimientos de conocimientos desde la intuición, introspección a la deducción, experiencia personal, sentimiento, contraste de opiniones, etc. (García, 2006).

### **Descripción de la propuesta con enfoque multidisciplinar**

La ejecución del Programa mediante los Proyectos A y B aplica un modelo de trabajo multidisciplinar que asume un enfoque sistémico. Por lo tanto, se representan las dos áreas de conocimiento implicadas: las Ciencias de la Educación y la Interacción Hombre Computador, como sistemas abiertos susceptibles de interacciones, retroalimentación e intercambios mutuos. El contexto del que se parte queda establecido bajo la denominación de “sociedad del conocimiento y de la educación”, ambas connotaciones consideradas “complejas” debido a su imposibilidad de ser abordadas de manera unilateral o fragmentada sin que ello provoque la modificación o limitación del problema. De allí la importancia de su estudio mediante el enfoque de sistemas.

Al tratarse de sistemas abiertos, se retroalimentan de manera permanente provocando la configuración de la realidad, me-

diante sucesivas y permanentes transformaciones. Es el caso particular de la Psicología, que explica el proceso de aprendizaje desde una postura nueva, la conectividad, o de la Filosofía, que pregona el pensamiento complejo como la capacidad de interconectar distintas dimensiones de lo real; asimismo, puede mencionarse el caso de la Pedagogía, que se orienta a la formación de competencias en los alumnos, entre otros interesantes marcos teóricos y conceptuales que han postulado la aparición de un paradigma científico que pondera el estudio de factores humanos en la construcción de conocimientos.

El modelo de investigación multidisciplinar que fundamenta el desarrollo del trabajo se basa en el modelo relacional de las Ciencias de la Educación propuesto por Jean Piaget en Pérez Gómez (1978), que incluye una perspectiva sincrónica, referida a la estructura de estas ciencias y a un proceso diacrónico que explica el funcionamiento de dicha estructura, en la que ambas perspectivas están vinculadas dialécticamente. En correlación con el modelo relacional, se analiza la articulación con la disciplina Interacción Hombre Computador. El trabajo de cada equipo implica la selección y ampliación, en función de los problemas particulares, de los recursos teóricos y metodológicos apropiados para indagar el corpus de análisis (Sosa y Velázquez, 2020).

En el programa se plantea como objetivo general el desarrollo de una propuesta tecnológica innovadora mediada por la gestión del conocimiento que profundice sobre los aspectos de la interacción hombre-computador relacionados con el desarrollo de competencias sociales y culturales, en entornos de trabajo colaborativos, distribuidos, usables y efectivos. Además, se busca el logro de la integración de recursos de información, humanos, informáticos y telemáticos en una estrategia de alcance organizacional que conduzca a la generación de ventajas competitivas en el área académica, mediante un modelo integrado de gestión.

*Proyecto A: La Interacción Hombre-Computador de los Sistemas CSCW Orientados al Ámbito Educativo*

Los sistemas, aplicaciones y recursos informáticos orientados al campo de la educación posibilitan la creación de nuevos escenarios educativos interactivos y colaborativos. Cada recurso o aplicación, con sus características particulares y potencialidades, propicia nuevas formas de interacción y retroalimentación, nuevos modos de representación del conocimiento, orientados a acceder, compartir e integrar conocimientos y recursos a través de la web. A la vez, estos recursos y entornos de trabajo y de aprendizaje están al alcance de personas de diferentes contextos geográficos, sociales y culturales, y en muchos casos están abiertos a la interacción entre los participantes. Las interacciones son realizadas a través de un medio, la "interfaz". La idea fundamental en el concepto de interfaz es la de mediación entre hombre y máquina. La interfaz es lo que 'media', lo que facilita la comunicación, la interacción, entre dos sistemas de diferente naturaleza, típicamente, el ser humano y una máquina como el computador. Esto implica, además, un sistema de traducción, ya que los dos 'hablan' lenguajes diferentes: verbo-icónico, en el caso del hombre, y binario, en el caso del computador.

En este sentido, en la construcción de las aplicaciones informáticas interactivas, en especial las orientadas a la educación, es primordial considerar al usuario, es decir, se hace necesario no solo tener en cuenta los requisitos del sistema, desde el punto de vista informático, sino también las necesidades concretas del usuario para que pueda utilizar, fácil y fructíferamente, las aplicaciones informáticas.

Se pretende identificar factores singulares del usuario que inciden en el diseño de una interfaz, enfatizando los aspectos cognitivos, ya que el diseño de sistemas 'usables' exige

conocer y entender muy bien al usuario y al contexto en el que se desenvuelve.

Específicamente, los objetivos del Proyecto A son realizar propuestas para desarrollar o mejorar la efectividad, eficiencia y usabilidad de los sistemas interactivos de tipo CSCW (*Computer Support Cooperative Work*, o Trabajo Cooperativo Soportado por Computador), teniendo en cuenta el entorno físico, social y cultural involucrado en la interacción. Por lo tanto, se requiere comprender aspectos humanos (psicológicos, organizativos, sociales y culturales), que determinan cómo trabaja la gente y cómo hace uso de las computadoras, y también la influencia del avance de las tecnologías en estos sistemas.

A partir de lo expuesto, se han propuesto métodos e instrumentos que guían el diseño, el desarrollo y la evaluación de interfaz, siguiendo el enfoque de *diseño centrado en el usuario, criterios de usabilidad y satisfacción de usuario*, que permitan la innovación en ámbitos educativos.

*Proyecto B: Implicancias conceptuales interdisciplinarias en la búsqueda de creatividad y criticidad para ambientes colaborativos y distribuidos soportados por computador y mediados por la gestión del conocimiento*

En las primeras décadas del siglo XXI, el hombre asiste a una verdadera transformación de la sociedad humana, en la que se destaca la progresiva difuminación de la frontera entre lo natural y lo artificial, lo real y lo virtual, lo material y lo inmaterial. Este fenómeno sociocultural provocado por las tecnologías emergentes da lugar a distintos interrogantes: ¿qué incidencia tiene la construcción de interfaces que median entre el hombre y la máquina en la aparición de este fenómeno? ¿Existe vinculación entre la criticidad y la creatividad como atributos del pensamiento humano y la usabilidad como propiedad de

las interfaces? ¿Qué aspectos técnicos promueven la creatividad y criticidad en ambientes colaborativos y distribuidos? ¿Puede la gestión de conocimientos constituirse en una herramienta conceptual y técnica capaz de dotar de usabilidad a ambientes colaborativos y distribuidos?

Como se menciona en el proyecto A, la disciplina IHC se centra en la interacción entre uno o más seres humanos y uno o más computadores. La interacción se realiza a través de una interfaz. La interfaz es un 'medio' que refleja las propiedades físicas de los que interactúan, las funciones a realizar y el equilibrio de poder y control, tal como lo expresan Lorés *et al.* (2002). Es el punto en el que la persona y el computador se ponen en contacto, transmitiéndose mutuamente tanto información, órdenes y datos como sensaciones, intuiciones y nuevas formas de ver las cosas. La interfaz forma parte de un entorno cultural, físico y social, cuyos aspectos deben ser considerados en su diseño (Cañas y Waern, 2001; Card *et al.*, 1993). Para esto es necesaria la intervención de otras disciplinas, además de la informática, como por ejemplo la psicología cognitiva, la sociología, la ergonomía, la etnografía, enfocadas desde las Ciencias de la Educación. Es en este escenario y frente estos interrogantes ante los que la IHC logra relevancia como disciplina relacionada con el diseño, la evaluación, y la implementación de aplicaciones informáticas para ser usadas por los seres humanos en ambientes públicos y privados.

Si se parte de que la interfaz es el elemento que facilita la comunicación, la interacción entre dos sistemas de diferente naturaleza como lo son el ser humano y la máquina genera una nueva pregunta, la que conduce inicialmente esta investigación, ¿Qué y cómo inciden los aspectos humanos tales como los de índole social, cognitiva y cultural en la usabilidad de las interfaces? Si asumimos que la propiedad de "usabilidad" exige conocer y entender al usuario y al contexto en el que se desenvuelve, superando las diferencias en cuanto a lenguajes



diferentes (verbo-ic3nico en el caso del ser humano y binario en el caso de la computadora), entonces emerge otra preocupaci3n: ¿c3mo lograr que las interfaces centradas en el usuario presenten caracter3sticas de usabilidad y de respuestas efectivas en t3rminos de creatividad y criticidad para potenciar la capacidad de aprendizaje de los seres humanos?.

La criticidad y la creatividad surgen como competencias imprescindibles en la resoluci3n de problemas en un mundo complejo y una sociedad del conocimiento que exige ciertas habilidades y capacidad para desenvolverse.

La realizaci3n de los proyectos ha generado distintas l3neas de trabajo, las que se describen en los apartados siguientes.

## **L3neas de trabajo y resultados logrados**

*A. Construcci3n de un marco te3rico de referencia centrado en los campos disciplinares Interacci3n Hombre Computador, Trabajo colaborativo soportado por computador y gesti3n del Conocimiento y las vinculaciones con las Neurociencias*

La construcci3n de aplicaciones inform3ticas orientadas a la educaci3n se acrecienta cada vez m3s en la b3squeda de compatibilizar dos sistemas, el *humano* y el *computacional* con caracter3sticas distintas y con una misma finalidad: dotar a la m3quina de recursos que faciliten, ampl3en y promuevan nuevas competencias en las personas-usuarios sin socavar su condici3n humana; en esta l3nea de pensamiento, la creatividad y la criticidad emergen como aspectos relevantes y a la vez condicionantes del proceso. En el fondo de la cuesti3n se plantea la interacci3n entre personas y computadoras a trav3s de un medio o interfaz. Expresado de otra manera, es el punto en el que los seres humanos y las computadoras se ponen en contacto, transmiti3ndose mutuamente tanto informaci3n,

órdenes y datos, como sensaciones, intuiciones y nuevas maneras de ver las cosas. La interfaz forma parte de un entorno cultural, físico y social, por lo tanto, tales factores deben tenerse en cuenta en el momento de construirla.

Con base en lo que se mencionara anteriormente, en el Proyecto B se ha considerado pertinente indagar en las neurociencias. El término "neurociencias" hace referencia a campos científicos y áreas de conocimiento diversas que, bajo distintas perspectivas de enfoque, abordan los niveles de conocimiento vigentes sobre el sistema nervioso (Salas Silva, 2003). Se hace neurociencia, pues, desde perspectivas totalmente básicas, como la propia de la biología molecular, y también desde los niveles propios de las ciencias sociales. De ahí que este constructo involucre ciencias tales como: neuroanatomía, fisiología, química, neuroinmunología, genética, la neuropsicología, las ciencias computacionales.

Desde la perspectiva abordada en el Proyecto B se destaca la implicancia del pensamiento divergente, de acuerdo con los siguientes autores: Gardner considera que "la idea clave en la concepción psicológica de la creatividad ha sido la de pensamiento divergente" y por su carácter sintético, la aproximación conceptual de Corbalán-Berná (citado por Rodríguez Muñoz, 2011) se refiere a que la creatividad es entendida como la capacidad de utilizar conocimientos e informaciones de forma novedosa y de hallar soluciones divergentes a los problemas; para esto, se requiere motivación generada por factores intrínsecos y extrínsecos, y en este último es que podría posicionarse la interfaz).

Respecto al concepto de pensamiento crítico, y desde la perspectiva de la neurociencia, este se define como el proceso de analizar y evaluar el pensamiento con el propósito de mejorarlo. La clave para desencadenar el lado creativo del pensamiento crítico (la verdadera mejora del pensamiento) está en reestructurar el pensamiento como resultado de analizar-

lo y evaluarlo de manera efectiva. El pensamiento cr3tico es autodirigido, autodisciplinado, autorregulado y autocorregido. Implica comunicaci3n efectiva y habilidades de soluci3n de problemas y un compromiso de superar el egocentrismo y sociocentrismo natural del ser humano (Richard y Elder, 2003; Manes, 2014).

La idea fundamental en el concepto de interfaz es el de mediaci3n entre hombre y m3quina. Esto implica, adem3s, que se trata de un sistema de traducci3n, ya que los dos 'hablan' lenguajes diferentes que tienen que "dialogar" para satisfacer las necesidades del usuario en t3rminos de funcionamiento del *software*. Coloquialmente, suele definirse 'usabilidad' como la propiedad que tiene un determinado sistema para que sea 'f3cil de usar y de aprender'; se trata de una propiedad que no es solo aplicable a los sistemas *software*, sino que, como muestran Norman y Draper, es aplicable a los elementos de la vida cotidiana (Norman y Draper, 1986).

La interfaz orientada a promover la creatividad y criticidad desde la perspectiva de la neurociencia constituye un desaf3o como aporte para evitar la enajenaci3n de los usuarios; desde la tecnolog3a, demanda una metodolog3a de construcci3n que supere el nivel sint3ctico que genera comportamientos autom3ticos y avance a un nivel sem3ntico en una dial3ctica entre intencionalidad educativa e intencionalidad t3cnica. Para conseguir esto, se requiere que la metodolog3a se fundamente en la convergencia de diversos campos cient3ficos, siendo la neurociencia el que en este trabajo se considera (Digi3n, 2016; Vel3zquez *et al.*, 2016; Vel3zquez y Sosa, 2017; Vel3zquez *et al.*, 2020).

*B. Definición de aspectos sociocognitivos que inciden en la interfaz de usuario distribuida y compartida: aplicación de un enfoque de cognición distribuida*

A partir de una mayor comprensión de la incidencia de los aspectos humanos, sociales y tecnológicos, la profundización de los problemas teóricos y prácticos de la interactividad y el diseño de interfaz, se han delineado principios y lineamientos de diseño sobre la interacción hombre-computador, teniendo en cuenta el avance de la tecnología informática y los paradigmas actuales con sistemas cada vez más complejos, como *internet of things* (IoT), interacción hombre-web (*Human-Web Interaction*), etc.

Entre los aspectos humanos y sociales que se pueden considerar, se pueden mencionar la cognición distribuida, las estrategias conversacionales y de representación de información, y los aspectos culturales, cuya comprensión aporta al proceso de diseño y desarrollo de interfaz de usuario para lograr sistemas interactivos usables.

En el Proyecto A se ha considerado el concepto de cognición distribuida, del campo de la psicología cognitiva, en el que la idea fundamental es que el procesamiento de información-conocimiento que se realiza a escala humana no es un fenómeno exclusivamente individual, mental o interno, sino que está anclado en un contexto social y cultural en el que ocurre. En este sentido, el proceso cognitivo no debe considerarse en términos de conciencia individual sino "distribuido" en un entorno donde, además, intervienen otras herramientas y otros agentes sociales. Esto implica que el grupo puede ser considerado como una unidad de procesamiento cognitivo, en otras palabras, un sistema cognitivo que incluye, a su vez, como elementos del sistema y no como mero contexto exterior, a las tecnologías e instrumentos concurrentes.

Teniendo en cuenta la importancia de que la cognición dis-

tribuida sea considerada en el uso y la aplicación de las tecnologías informáticas, y más específicamente en el diseño de las interacciones, se ha realizado el análisis y la valoración, desde dicha perspectiva de cognición distribuida, de un *sistema web basado en aplicaciones sociales para el ámbito académico superior con enfoque de gestión del conocimiento*; el sistema es el resultado de la elaboración de un trabajo final de grado de (Lescano y Pacheco Toledo, 2011), que se realiza en el marco de un proyecto que antecede a este.

Posteriormente, se mejora la interfaz de usuario del sistema mencionado, mediante la incorporación de aspectos de la cognición distribuida, de manera de mejorar la eficiencia del trabajo grupal y la de gestión del conocimiento. Se aplica la metodología denominada Metodología de Análisis de las Interacciones entre Agentes (MAIA) (Ferruzca Navarro, 2008), la cual proporciona un marco adecuado para el desarrollo del trabajo desde una perspectiva de la cognición distribuida (Rearte *et al.*, 2017a)

Finalmente, los resultados obtenidos a partir de la evaluación de la interfaz —donde se detectaron las inconsistencias durante las interacciones que suceden en el proceso de gestión conocimiento (uso, creación, distribución) y se determina la naturaleza de las mismas—, se mejora la herramienta tecnológica para lograr una mejor distribución cognitiva tendiente a favorecer las interacciones implicadas en la gestión de conocimiento cuando los participantes trabajan en forma grupal y en forma colaborativa (Rearte *et al.*, 2017b)

Esta línea de trabajo origina la producción del trabajo final de grado “Cognición Distribuida para mejorar la Interfaz de Usuario de una Aplicación Colaborativa para la Gestión del Conocimiento Académico”, para la carrera de Licenciatura en Sistemas de Información de la FCEyT, UNSE, de Rearte y Castillo (2018).

*C. Calidad para interfaces de entornos de trabajo colaborativos soportados por computador, centrados principalmente en criterios de usabilidad de tipo logística, técnica y pedagógica*

En esta línea de trabajo se determinan y definen los criterios de calidad en términos de usabilidad, orientados principalmente a los aspectos pedagógicos, los aspectos tecnológicos y los de tipo logístico, con la finalidad de lograr un equilibrio entre todos y conseguir recursos que faciliten el alcance de objetivos de aprendizaje de los usuarios.

La usabilidad, como idea general, expresa la facilidad de uso de un objeto con el propósito de lograr un objetivo. Es decir, se trata de que un objeto ofrezca características de eficiencia de empleo, facilidad de aprendizaje y satisfacción con su uso. Nielsen (1993) agrupa estas características en cinco principios básicos: a) facilidad de aprendizaje, es decir, la facilidad del usuario para aprender a usar el objeto; b) eficiencia, relacionado al tiempo en lograr un objetivo usando el objeto; c) facilidad de recordar, después de pasado un tiempo sin usar el objeto, cuánto cuesta volver a usarlo eficazmente; d) errores, cuántos errores provoca el diseño del objeto en el comportamiento de los usuarios, qué tan graves son y qué tan fácil es recuperarse de ello; y e) satisfacción, qué tan placentero es el uso del objeto diseñado.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) diferencia la usabilidad desde dos puntos de vista: desde el producto y desde el punto de vista del usuario y su satisfacción. Según este último punto de vista, la usabilidad es "el grado de *eficacia* (es decir, que los usuarios satisfagan sus propósitos), *eficiencia* (que lo puedan hacer en el menor tiempo posible) y *satisfacción* (buena percepción del producto) con la que usuarios específicos pueden lograr objetivos específicos, en contextos de uso específicos", mientras que en el campo de los recursos educativos en línea, la usabilidad se traduce en la

usabilidad pedagógica (Poy y González Aguilar, 2014; Canto Herrera *et al.*, 2014).

Para algunos autores, la usabilidad pedagógica se enfoca en tres aspectos: interfaz del usuario, diseño de actividades de aprendizaje y verificación del alcance de los objetivos de aprendizaje. Para otros, tiene relación con el soporte a la organización de la enseñanza y el estudio, el apoyo al proceso de aprendizaje, el logro de los objetivos de aprendizaje y el soporte al desarrollo de habilidades de aprendizaje. En uno u otro sentido, la usabilidad es un factor esencial en la enseñanza-aprendizaje, no se limita a la estética de una interfaz, o sea, al diseño atractivo del *software* o la consideración de la ergonomía, sino que involucra la interacción de los usuarios con la plataforma virtual, en la satisfacción con el servicio y/o producto formativo (Turpo Gebera, 2013).

Esta línea de trabajo se divide en dos, para profundizar el análisis en dos casos concretos de investigación: a) *aprendizaje en línea* en entornos de tipo MOOC<sup>8</sup> y b) *entornos virtuales de enseñanza y aprendizaje* en plataformas de sistemas de gestión de aprendizajes (EVEA<sup>9</sup>).

a) Los MOOC se presentan como una alternativa para la formación *online*, orientado a los docentes para crear escenarios innovadores que favorezcan el aprendizaje. Los MOOC han irrumpido de forma acelerada en el ámbito de la educación, revolucionando las prácticas educativas y generando importantes expectativas. Son cursos que se definen por el gran número de alumnos participantes y por la heterogeneidad de los mismos, por eso, se considera importante tener en cuenta los aspectos humanos, culturales, idiomáticos, entre otros, para mejorar su

8 MOOC, *Massive Open Online Course*, se refiere a cursos en línea masivos y abiertos.

9 EVEA, Entornos Virtuales de Enseñanza y de Aprendizaje.

usabilidad. La mera aplicación de tales tecnologías por sí solas no garantiza los resultados, y en este sentido cobran interés los aspectos educativos en general y los pedagógicos didácticos en particular. Considerar la usabilidad en la organización, el desarrollo y la evaluación de una formación *online* es clave para el logro de eficiencia y efectividad en el aprendizaje. El trabajo sobre estas herramientas se divide en dos etapas.

En la primera etapa, se propone el diseño de un sistema de gestión de cursos online de tipo MOOC, contemplando en cuenta principalmente el formato curricular de enseñanza que se quiere implementar. Es decir, se tiene en cuenta la estructura organizativa de cada formato y las características curriculares (pedagógicas-didácticas) de enseñanza que se requiere y, en función a esto, se gestiona la configuración tecnológica que dé respuesta a tales requerimientos. Para el diseño se han considerado siete características de diseño del aprendizaje, enfatizando la importancia del formato pedagógico de enseñanza a seguir, de acuerdo con las necesidades educativas y relacionadas con la característica de contextualización. La finalidad del trabajo es mejorar en un MOOC el alcance de objetivos de aprendizaje, proponiendo una configuración más ajustada a las formas de construcción, apropiación y reconstrucción de saberes de cada formato curricular. Cada formato implica una organización diferente en cuanto a la tarea pedagógica, responde a diferentes modos de intervención según los sujetos pedagógicos, los objetivos que se espera alcanzar, la naturaleza de los contenidos a enseñar y aprender, el tipo de vínculo con el conocimiento que se pretende generar, las modalidades de abordaje e indagación que se espera favorecer, y las capacidades que se desea desarrollar en esta línea de trabajo.

En la segunda etapa, se aborda el análisis de la usabilidad del MOOC diseñado. Al ser esto un tema particularmente reciente, no existen muchos estudios realizados sobre la usabilidad de estos entornos. Por consiguiente, resulta interesante



seleccionar la metodolog3a para evaluar la usabilidad y, en funci3n a los resultados, desarrollar una propuesta de redise1o donde se solucionen y se corrijan los problemas de interfaces encontrados. Entre los m3todos de evaluaci3n considerados se encuentran la evaluaci3n heur3stica, la observaci3n no participante con *thinking aloud*, el cuestionario al usuario final, entre otros, todos ellos para obtener informaci3n tanto sobre la interacci3n de los usuarios con la interfaz como sobre el desarrollo de estos mismos cursos (Orpi y Sosa, 2016; Orpi y Sosa, 2017; Sosa y Vel3zquez, 2017).

b) Los entornos virtuales de ense1anza y aprendizaje (EVEA) son sitios web cuya funci3n es facilitar la comunicaci3n did3ctica entre los actores del proceso de ense1anza y aprendizaje, ya sea en una modalidad no presencial o semipresencial. Es decir, es una aplicaci3n inform3tica que ofrece una diversidad de herramientas que dan soporte a las interacciones entre docentes, alumnos y contenidos, en el marco de procesos educativos mediados por TIC. Un EVEA provee el soporte a diferentes tareas asociadas a la ense1anza-aprendizaje, para los distintos perfiles (docente, alumno, administrador) involucrados en el uso y gesti3n del entorno virtual, como por ejemplo: a) presentaci3n de la propuesta docente (para docentes); b) gesti3n de contenidos (docentes y alumnos); c) comunicaci3n sincr3nica y asincr3nica (docentes y alumnos); d) repositorios de materiales (docentes y alumnos); e) trabajo colaborativo (docentes y alumnos); e) evaluaci3n (docentes y alumnos); f) seguimiento de la ense1anza (los alumnos). Al dise1ar este entorno de formaci3n, se debe tomar una serie de decisiones y establecer estrategias flexibles tanto pedag3gico-did3cticas como tecnol3gicas, orientadas a crear un entorno que re1una caracter3sticas de usabilidad, con la finalidad de brindar una formaci3n de calidad, en t3rminos de efectividad.

En la elaboraci3n de la gui3a se tienen en cuenta los principios heur3sticos propuestos por Nielsen (2002) y el est3ndar ISO/

IEC 9241, para enfocar los aspectos de usabilidad del entorno virtual, el que debe reflejar una lógica capaz de transmitir al usuario la mejor forma de utilizarlo. La guía aborda la valoración de dimensiones comunicacionales, dimensión pedagógico-didáctica y tecnológica del entorno virtual; es aplicada al aula virtual de la asignatura Informática de las carreras de Ingeniería de la FCEyT-UNSE. Con esta propuesta se aspira a lograr que el aula virtual sea utilizada como complemento formativo de la clase presencial, orientándolo al docente a asumir una transformación en su modalidad de trabajo con respecto a los modelos tradicionales de enseñanza. Esta nueva lógica organizacional de diseño de las actividades y recursos de apoyo, habilidades y conocimientos sobre las herramientas produce un nuevo enfoque en las formas de comunicación, logrando espacios flexibles que motiven al alumno y brinden oportunidades de aprendizaje de manera efectiva, significativa y colaborativa. Finalmente, se busca contar con instrumentos de valoración del diseño de entornos virtuales, verificando si reúnen características de usabilidad y si favorecen la calidad pedagógica, didáctica y comunicacional (Silva *et al.*, 2017; Digión, 2017).

*D. Definición de mecanismos de soporte al group awareness para mejorar la usabilidad de los entornos de trabajo colaborativo soportados por computador*

Otra temática que se aborda desde este programa es lo que se conoce con el nombre de "conciencia de grupo" o, en inglés *group awareness* (o simplemente mencionado con *awareness*), es decir, la posibilidad de que los miembros del grupo conozcan lo que hacen sus pares, quién lo hace y cómo lo hace. El *awareness* refiere al conocimiento detallado de las actividades de otras personas y de lo que se requiere para que

una persona (el conocedor) pueda coordinar y completar su parte en una tarea grupal.

Se cree importante y necesario incorporar estos atributos para proporcionar informaci3n sobre el espacio compartido, las tareas, los roles, etc. A su vez, esta informaci3n debe reflejarse adecuadamente en la interfaz de usuario, para favorecer los atributos de usabilidad, caracter3stica imprescindible para mejorar el trabajo entre los usuarios y la obtenci3n de objetivos comunes.

Los sistemas colaborativos son un tipo de sistema de informaci3n que surgen de la necesidad de realizar actividades que se requieren en un grupo de trabajo. Un elemento de relevancia de los sistemas colaborativos es la interfaz de usuario, la que incide en la calidad de los mismos. Especialmente, la usabilidad de la interfaz contribuye a responder adecuadamente al objetivo principal de los sistemas colaborativos, que es brindar soporte al trabajo grupal colaborativo mediado por computador. La disciplina que centra su estudio en el trabajo grupal colaborativo soportado por computador es conocida por la sigla CSCW (*Computer Supported Cooperative Work*, Trabajo Cooperativo Soportado por Computador). La aplicaci3n tecnol3gica producto del CSCW se denomina *groupware*. El *groupware* es un tipo concreto de *software* que permite que grupos de personas puedan comunicarse, coordinar y colaborar para llevar a cabo actividades en forma colectiva, y as3 alcanzar objetivos comunes al grupo. Una de las preocupaciones del campo CSCW se centra en el comportamiento humano durante el trabajo grupal, en relaci3n con la participaci3n y con los procesos de comunicaci3n, colaboraci3n y coordinaci3n. Diversas investigaciones han demostrado que un espacio de trabajo f3sico compartido y los artefactos o accesorios en ese espacio apoyan una rica interacci3n cara a cara. La informaci3n disponible a trav3s del espacio f3sico de trabajo permite a las personas tener conciencia de los dem3s

lugares, actividades y las intenciones de sus pares en relación con las tareas, lo que les permite trabajar juntos de una manera más eficaz y tomar decisiones en un instante dado. De igual forma, los entornos para el trabajo colaborativo mediado por computador necesitan implementar formas de promover el conocimiento sobre el propio grupo y su estado general, de manera que el usuario tenga conciencia o conocimiento de las actividades del resto del grupo. Es decir, este tipo de sistemas debería tener la capacidad de proporcionar información sobre las actividades pasadas, presentes y futuras, lo que mejoraría las interacciones entre los miembros del grupo, tornaría al trabajo más natural y fluido, reduciría el riesgo de doble esfuerzo, etc. Para proveer esa información, el sistema necesita contar con mecanismos que den un soporte adecuado, es decir, la posibilidad de que los miembros del grupo conozcan lo que hacen sus pares, quién lo hace y cómo lo hace. En el trabajo de Herrera Saavedra (2013), se define el *awareness* como el conocimiento detallado de las actividades de otras personas y de lo que se requiere para que una persona (el conocedor) pueda coordinar y completar su parte en una tarea grupal. Incorporar estos atributos implica proporcionar información sobre el espacio compartido, tareas, roles, etc. Y, a su vez, esta información debe reflejarse adecuadamente en la interfaz de usuario, para favorecer los atributos de usabilidad, característica imprescindible para mejorar el trabajo entre los usuarios y la obtención de objetivos comunes. Se propone determinar de qué forma la integración de mecanismos de *awareness* en el sistema *groupware* incrementa la usabilidad de los mismos. Concretamente, se realiza la evaluación de una interfaz de un sistema colaborativo, centrándose en los aspectos de *awareness*, y se explicita la percepción de la actividad conjunta de un grupo de usuarios implicados en una tarea común. Se pretende determinar si el *awareness* o conciencia de grupo contribuye a mejorar los atributos de usabilidad de la interfaz y si

promueve una mayor participación de los miembros del grupo de trabajo, es decir, una mayor interacción y satisfacción por parte del grupo de trabajo. En esta línea se elabora el trabajo final de grado de Ávila (2018), para la Licenciatura en Sistemas de Información, de la FCEyT en la UNSE.

Por último, se mencionan otros resultados logrados en referencia a la temática de la gestión del conocimiento y las distintas posibilidades en los ámbitos educativos.

### *i) Diseño de un modelo de gestión del conocimiento pedagógico para educación a distancia soportado en un entorno CSCW*

Una nueva línea de trabajo aborda el diseño de un modelo de gestión de conocimiento, orientado a dar soporte a una comunidad de práctica académica sobre educación virtual en una unidad académica llamada Escuela para la Innovación Educativa en la Universidad Nacional de Santiago del Estero (EIE-UNSE). En esta unidad se ofrecen propuestas formativas en las modalidades semipresencial y no presencial, cuyos procesos de enseñanza y aprendizaje se apoyan en el uso de una plataforma implementada en Moodle. Es decir, desde hace algunos años se trabaja con aulas virtuales como entornos de formación orientados a la comunicación e interacción entre los participantes del proceso educativo. En este contexto se observa la necesidad de compartir nociones, ideas, conceptos, experiencias y formas de resolver diferentes situaciones problemáticas que se presentan en el ámbito de la educación a distancia, en general, y de la educación virtual soportada en dicha plataforma, en particular. Dado que la experiencia en este campo existe desde hace tiempo, tanto en docentes como en personal no docente, se requiere que este conocimiento tácito sea sistematizado, organizado y formalizado de algún modo, para que pueda estar disponible para todos los miembros de

la institución. Este colectivo formado por los miembros de la institución responde por sus características a una comunidad de práctica académica, especialmente orientada a compartir conocimiento pedagógico sobre educación virtual. Siguiendo la definición clásica dada por Wenger (1998), el concepto de "comunidad de práctica" se entiende como comunidades que reúnen a la gente de manera informal por intereses en común de aprendizaje y, sobre todo, en la aplicación práctica de lo aprendido. Sobre la idea de que ya existe una comunidad de práctica, que incluyen tres elementos —dominio, comunidad y práctica—, se requiere de mecanismos y procedimientos que fortalezcan su permanencia y mantenimiento y que hagan más visibles los canales de interacción, comunicación y colaboración. Más específicamente, se trata de definir un proceso que gestione el conocimiento pedagógico que comparten. Concretamente, la propuesta consistió en el diseño de un sistema de gestión de conocimiento para dar soporte a la comunidad de práctica de educación virtual en el ámbito de la EIE-UNSE. Para esto, se parte de la definición de un modelo tecnoconceptual. Conceptualmente, representa el ciclo de conocimiento y cada una de sus fases, desde la captura, el uso, la aplicación y la creación de conocimiento nuevo, hasta la perspectiva de gestión del conocimiento. Se hace visible en este modelo la conversión de conocimiento tácito a explícito y viceversa, y la capacidad necesaria de la organización para crear conocimiento nuevo, diseminarlo en la organización e incorporarlo a todos los procesos de la misma. Asimismo, se pone de manifiesto un modelo tecnológico que represente los recursos y medios tecnológicos que apoyan el ciclo del conocimiento, de manera que el sistema de gestión se oriente a gestionar el conocimiento pedagógico sobre enseñanza a distancia mediante una comunidad de práctica, pueda crear y mantener la memoria de conocimiento pedagógico en la institución y, además, contenga un mecanismo para sostener

el desempe1o de la comunidad de pr3ctica (Leguizam3n y Sosa, 2019).

### *II) Posibilidades Pedag3gicas de la Videoconferencia Aspectos interactivos, comunicativos, atencionales y t3cnicos*

La videoconferencia es un servicio de comunicaci3n que puede ser utilizado en cualquier nivel educativo y, especialmente, en el nivel superior, tanto en la modalidad presencial como en la modalidad a distancia. Con el uso de videoconferencia se potencia la interacci3n entre los participantes, a diferencia de las herramientas como correo electr3nico, chat, foro, etc., basados en la comunicaci3n textual. Por esta raz3n, esta tecnolog3a puede ser utilizada con fines pedag3gicos, ampliando cada vez m3s sus posibilidades en los procesos de ense1anza-aprendizaje. En este sentido, ofrece distintas ventajas, tales como: a) alcance global, puesto que permite contactarse con cualquier persona ubicada en cualquier lugar del mundo, compartir e intercambiar experiencias, favoreci3ndose la interculturalidad; b) comunicaci3n, en cuanto a que favorece la conversaci3n o debate, la capacidad de generar aprendizaje, por ejemplo, en las pr3cticas de idiomas, habilidades sociales, etc.; c) trabajo colaborativo, pues, al facilitar el intercambio, los estudiantes pueden trabajar y aprender colaborativamente; y d) ubicuidad, ya que posibilita la conexi3n por videoconferencia desde cualquier dispositivo m3vil, con todas las ventajas que esto conlleva, lo que permite la visualizaci3n directa de escenarios o lugares, a veces, dif3cilmente accesibles.

Distintas experiencias muestran los resultados positivos del uso de videoconferencia en el proceso de ense1anza-aprendizaje. Sin embargo, su empleo en procesos de ense1anza-aprendizaje exige diferentes modos de presentar la informaci3n y nuevas formas de gestionar las interacciones que

se generan en ambas direcciones. Por tal razón, es necesario que el docente, en su rol de moderador, adquiera habilidades y competencias para aprovechar las posibilidades pedagógicas de la videoconferencia, sus aspectos interactivos, comunicativos, atencionales y técnicos, factores claves para que la experiencia educativa se lleve a cabo con éxito (Sosa y Velázquez, 2018).

### *III) Implementación del portafolio electrónico: una contribución para el aprendizaje en el aula virtual*

El portafolio facilita la integración de la evaluación auténtica en el proceso de enseñanza y de aprendizaje, recopila muestras de las actividades de aprendizaje en momentos clave y realiza una reflexión sobre los logros y dificultades para la consecución de las competencias genéricas y específicas propuestas:

- 1) El uso del portafolio en formato electrónico para la docencia busca un fin último, que es la mejora del aprendizaje autónomo del alumno, para lo cual se hace imprescindible un adecuado y cuidadoso diseño didáctico mediado con tecnología.
- 2) Entre sus características figuran la necesaria conveniencia del uso de plataformas *online* para la gestión y organización multimedia, que facilite su elaboración y difusión final.
- 3) Se habla del portafolio como un instrumento que combina las herramientas tecnológicas con el objeto de reunir trabajos que permitan el seguimiento y la evaluación del proceso de aprendizaje del alumno.
- 4) El *e-portfolio*, cuando se utiliza como producto y proceso, es una herramienta que permite el aprendizaje mediante la reflexión y el aprendizaje permanente.
- 5) En toda Europa, los *lose-portfolios* son reconocidos como elementos conductores de estos nuevos requisitos de aprendizaje, ya que obtienen evaluaciones altamente individualizadas y son prueba de los logros de los estudiantes.
- 6) Hubo discusiones



sobre que la incorporaci3n de la tecnolog3a tiene que dirigirse a potenciar las habilidades superiores cognitivas y de pensamiento, y que se debe emplear desde enfoques centrados en el alumno. La construcci3n de *e-portfolios* y la ayuda a los estudiantes para que gestionen y hagan crecer sus entornos personales de aprendizaje (PLE<sup>10</sup>) son dos enfoques valorados para ir m3s all3 de los modelos tecnoc3ntricos. Los *e-portfolios* se consideran como parte del PLE de los estudiantes, de forma que los medios sociales se utilizan para mejorar los procesos del *e-portfolio* y los PLE de los alumnos. Desde la perspectiva del alumno, la elaboraci3n de un *e-portfolio* acad3mico permite aprender a planificar y a autogestionar su proceso de aprendizaje, a partir de las orientaciones del docente y a ser m3s aut3nomo y a promover la toma de decisiones durante la actividad educativa; en definitiva, permite y facilita la regulaci3n de su propio proceso de aprendizaje (6).

El prop3sito de este trabajo ha consistido en desarrollar e implementar un *e-portfolio* o portafolio electr3nico, generado con una metodolog3a propia de desarrollo centrada en el alumno y bajo el enfoque sist3mico. Este instrumento contribuir3 en la tarea de evaluaci3n y seguimiento que haga el docente tutor durante el proceso instruccional. Asimismo, se definen medidas de certificaci3n y/o calidad para la aplicaci3n tecnol3gica, a partir de la incorporaci3n de actividades oportunas de validaci3n en el proyecto y proceso *software* que origine dicha aplicaci3n (Digi3n *et al.*, 2016).

10 [PLE \(Personal Learning Enviroment, en ingl3s\)](#) o entorno personal de aprendizaje (EPA).

## Conclusiones

Henao Villa *et al.* (2017) expresa que los proyectos multidisciplinarios son aquellos en los cuales los investigadores, representantes de diferentes campos, contribuyen con métodos e ideas de sus respectivas disciplinas hacia el análisis de una pregunta de investigación en particular. Es decir, una variedad de disciplinas colabora en un programa de investigación para aportar y resolver algún problema, en el que interactúan las ciencias exactas, naturales, sociales y la tecnología.

El trabajo multidisciplinar realizado a partir de la concreción de las actividades previstas en este programa ha facilitado la obtención de resultados de diversos tipos:

Teóricos:

- Nivel de incidencia de los factores humanos, culturales, sociales y de las tecnologías avanzadas en el desarrollo de interfaces de sistemas colaborativos y de gestión de conocimiento.
- Definición de nuevos requerimientos de interacción.
- Diseño de un marco conceptual interdisciplinario que orienta la construcción de interfaces usables y colaborativos para groupware con fines educativos.

Metodológico:

- Desarrollo de una herramienta conceptual y metodológica que orienta el proceso de diseño, construcción, evaluación de interfaces usables y efectivos para sistemas del campo CSCW con fines educativos.

Tecnológicos:

- Una técnica formal para la evaluación de la usabilidad colaborativa de sistemas CSCW.
- Un prototipo de aplicación colaborativa diseñada desde el método propuesto.

Finalmente, en el marco del programa se ha brindado asesoramiento a tesis de grado y de posgrado de la Universidad Nacional de Santiago del Estero, en el 3rea de conocimiento pertinente, y se ha facilitado la articulaci3n te3rico-pr3ctica para la formaci3n de recursos humanos con un nivel de competencias pertinente para dar respuestas concretas y viables a las demandas reales del contexto.

## Bibliografía

- Ávila, Gloria (2018). *Propuesta Basada en Awareness para validar la Usabilidad de la Interfaz y el Trabajo Grupal Mediado por computador*. Trabajo final de la Licenciatura en Sistemas de Información FCEyT-UNSE.
- Canto Herrera, Pedro José.; Méndez Ojeda, José Israel.; Ramírez Montoya María S. y Quiñonez Pech, Sergio H. (2014). *Diseño pedagógico y valoración de un seminario en formato MOOC*. México: UADY.
- Cañas, José y Waern, Yvonne (2001). *Ergonomía Cognitiva: Aspectos psicológicos de la interacción de las personas con la tecnología de la información*. C.A.B.A.: Editorial Médica Panamericana.
- Card, Stuart K.; Moran, Thomas P. y Newell, Allen (1993). *The Psychology of human computer interaction*. New Jersey: CRC Press.
- Digión, Leda; Figueroa, Saritha y Noriega, Karina (2016). "Implementación del Portafolio Electrónico: Una Contribución para el Aprendizaje en el aula virtual". XI Congreso de Tecnología e Educación y Educación en Tecnología (TEyET). Morón, Buenos Aires.
- Digión, Leda (2016). "Marco Conceptual de calidad para el diseño de Interfaz Creativa y Aprendizaje Ubicuo". XI jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA Jujuy.
- Digión, Leda (2017). "Marco creativo de Usabilidad de Recursos Educativos en Entorno virtual". XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA Catamarca.
- Dix, Alan; Finlay, Janet; Abowd, Gregory y Beale Russell (2004). *Human-Computer Interaction*. 3rd edition. Pearson Education Ltd.
- Ferruzca Navarro, Marco Vinicio. (2008). *Estudio Teórico y evidencia empírica de la aplicación Del Marco teórico de Cognición Distribuida en la gestión de sistemas e-Learning*. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Cataluña. España.

- García, Rolando (2006). *Sistemas complejos. Conceptos, método y fundamentación epistemológica de la Investigación Interdisciplinaria*. Barcelona. España: Editorial Gedisa.
- Granollers, Tony; Lorés, Jesús, J. y Perdrix, Ferran (2003). "Usability Engineering Process Model. Integration with Software Engineering". *Proceedings of HCI International*. Pp. 1-6.
- Herrera Saavedra, Edwin A. (2014). "Investigación en Progreso: Modelo de Awareness Basado en Topologías de Interacción para Espacios Virtuales de Trabajo Colaborativo". *Revista Latinoamericana de Ingeniería de Software*. 2(1), pp. 91-94.
- Henao Villa, César Felipe; García Arango, David Alberto; Aguirre Mesa, Elkin Darío, González García, Arturo; Bracho Aconcha, Rosa; Solorzano Movilla, Jose Gregorio y Arbolada Lopez, Adriana Patricia (2017). "Multidisciplinariedad, Interdisciplinariedad y Transdisciplinariedad en la formación para la investigación en Ingeniería". *Revista Lasallista de Investigación*. 14(1), pp. 179-197.
- Hix, Debora y Harston, H. Rex. (1993). *Developing User Interfaces: Ensuring Usability Through Product & Process*. New York: John Wiley and Sons.
- Laurel, Brenda (1990). *The art of human-computer interaction*. Addison-Wesley, Reading, MA
- Leguizam3n, Fernanda y Sosa, Mabel (2019). "Innovaci3n mediante la Gest3n del Conocimiento en una Comunidad de Pr3ctica sobre Educaci3n a Distancia". 8º Seminario Internacional de Educaci3n a Distancia *La educaci3n en perspectiva. Pr3cticas disruptivas mediadas por tecnolog3as*. Red Universitaria de Educaci3n a Distancia, San Salvador de Jujuy, Argentina.
- Lescano, German y Pacheco Toledo, Ricardo (2011). *Aplicaci3n pr3ctica del enfoque de gesti3n del conocimiento: Sistema web basado en aplicaciones sociales como soporte al trabajo colaborativo en 3reas acad3micas superiores*. Trabajo de grado en la Universidad Nacional de Santiago del Estero. Argentina.
- Lorés, Jesús; Granoller, Tony y Sergi, Lana (2002). "Introduc-

- ción a la Interacción Persona-Ordenador". En Lorés (ed.) *La interacción persona-ordenador* (pp. 46 ). Lleida: Asociación Interacción Persona-Ordenador, AIPO
- Manes, Facundo (2014). *Usar el cerebro*. 4a ed. Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Planeta.
- Martínez Romero E. y Esparza Olguín L. G. (2021) Teorías de Sistemas Complejos: marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental. *Revista Teorías de Sistemas Complejos: marco epistémico para abordar la complejidad socioambiental*. Intersticios sociales, núm. 21, pp. 373-398, 2021 El Colegio de Jalisco, A.C.
- Mayhew, Deborah J. (1999). *The Usability Engineering Lifecycle: A practitioner's Handbook for User Interface Design*. San Francisco: Morgan Kaufman.
- Muñoz Arteaga, Jaime y otros (2014). *Temas de diseño en Interacción Humano-Computadora*. 1era Edición. Iniciativa Latinoamericana de Libros de Texto Abiertos (LATIn).
- Nielsen, Jakob (1993). *Usability engineering*. Boston: Academic Press.
- Nielsen, Jakob (11 de mayo de 2002). Top Ten Guidelines for Homepage Usability. *NNG / Nielsen Norman Group*.
- Nielsen, Jakob (9 de marzo de 2003). PR on Websites: Increasing Usability. *NNG / Nielsen Norman Group*.
- Norman, Donald y Draper, Stephen (1986). *User Centered System Design: New Perspectives on Human-Computer Interaction*. New Jersey: Lawrence Earlbaum Associates Publishers.
- Noriega, Karina (2019). *Implementación E-portfolio como Instrumento activo para la evaluación continua en el aula virtual*. Trabajo final de la Carrera Licenciatura en Sistemas de Información FCEyT –UNSE.
- Orpi, Marta y Sosa, Mabel (2016). "Formatos curriculares de enseñanza para cursos MOOC". En *Simbiosis del aprendizaje con las tecnologías. Experiencias innovadoras en el ámbito hispano* (pp.85-99). Zaragoza: Pressas Universitarias de la Universidad de Zaragoza.Orpi, Marta y Mabel, Sosa (2017).

- "Criterios de Usabilidad con perspectiva pedag3gica para evaluar Cursos MOOC". IX Conferencia Internacional de Ambientes Virtuales de Aprendizaje Adaptativos y Accesibles (CAVA2017) San Miguel de Tucum3n.
- P3rez G3mez, 3ngel (1978). *Las fronteras de la educaci3n. Epistemolog3a y Ciencias de la Educaci3n*. Madrid: ZYX.
- Poy, Raquel y Gonz3lez Aguilar, Audilio (2014). "Factores de 3xito de los MOOC: algunas consideraciones cr3ticas". *Revista ib3rica de sistemas y tecnolog3as de la informaci3n*. E1(03), pp. 105-118.
- ISO 9241-11(1998). Ergonomic requirements for office work with visual display terminals (VDTs) – Part 11: Guidance on usability. *International Organization for Standardization. ISO*.
- Rearte, Carmen.; Castillo, Hernan. y Sosa Mabel. (2017a). "Improvement of Interactions in Interactive Environments and Knowledge Management from the Distributed Cognition Approach". Proceeding 9th International Conference on Knowledge Management and Information Sharing. Madeira, Portugal
- Rearte, Carmen; Castillo, Joaqu3n y Sosa, Mabel (2017b). "Contribuci3n del Enfoque de Cognici3n Distribuida en 3reas de IHC y CSCW". Actas VI Congreso Argentino de Interacci3n Persona Computador Telecomunicaciones, Inform3tica e Informaci3n Cient3fica. C3rdoba.
- Rearte, Carmen y Castillo, Hern3n (2018). *Cognici3n Distribuida para mejorar la Interfaz de Usuario de una Aplicaci3n Colaborativa para la Gesti3n del Conocimiento Acad3mico*. Trabajo de grado FCEyT –UNSE.
- Richard, Paul y Elder, Linda (2003). La mini-gu3a para el Pensamiento cr3tico Conceptos y herramientas. *Critical thinking*. <https://www.criticalthinking.org/resources/PDF/SP-ConceptsandTools.pdf>
- Rodr3guez-Mu3oz, Francisco J. (2011). "Contribuciones de la neurociencia al entendimiento de la creatividad humana Contributions of neuroscience to the understanding of human creativity". *Arte, Individuo y Sociedad*. 23(2), pp. 45-54.

- Salas Silva, Raúl (2018). "¿La Educación necesita realmente de la Neurociencia?". *Estudios Pedagógicos*. (29), pp. 155-171.
- Silva, Carmen; Sosa, Mabel; Velázquez, Isabel y Maldonado, Ivana (2017). "Usabilidad de Aulas Virtuales. Propuesta para mejorar la calidad pedagógica mediante factores de usabilidad". XII Jornadas de Ciencia y Tecnología de Facultades de Ingeniería del NOA. Catamarca.
- Sosa, Mabel y Velázquez, Isabel (2017). "Evaluación de Cursos Abiertos *OnLine* desde una perspectiva de Usabilidad". 5ta Conferencia Ibero-Americana Computación Aplicada (CIA-CA2017), Algarve, Portugal.
- Sosa, Mabel y Velázquez, Isabel (2018). "Posibilidades Pedagógicas de la Videoconferencia. Aspectos interactivos, comunicativos, atencionales y técnicos. En Allueva Pinilla y Marco (coord.) *Casos De Éxito en Aprendizaje Ubicuo Y Social Mediado Con Tecnologías*. 1era (pp. 321-329). Zaragoza: Prensas de la Universidad de Zaragoza.
- Sosa, Mabel y Velázquez, Isabel (2020). "Enfoque multidisciplinar para la investigación en el campo disciplinar Interacción Persona Computador". *Revista Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA*. (5), pp. 290-299 .
- Turpo Gebera, Osvaldo (2013). "Criterios de valoración sobre la Usabilidad Pedagógica en la formación continua docente". *Razón y Palabra. Primera Revista Electrónica en América Latina Especializada en Comunicación*. (81), pp. 1-21.
- Velázquez, Isabel; Leda Digión; Paola Budán; Analía Aftyka y María Lorena Romano Garay (2016). "Implicancias Conceptuales Interdisciplinarias en la búsqueda de Creatividad y Criticidad para ambientes Colaborativos y distribuidos soportados por computador y mediados por la Gestión del Conocimiento". Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación. Concordia, Entre Ríos.
- Velázquez, Isabel y Sosa, Mabel (2017). "Usabilidad de Interfaz Educativa orientada a promover la Creatividad y Criticidad mediante Neurociencias". 5ta Conferencia Ibero-Americana Computación Aplicada -CIACA2017 Algarve, Portugal.



- Vel3zquez, Isabel; Figueroa, Saritha y Cordero, Ricardo (2019). "Studying The Incidence Of Human Aspects In The Interface Building Process For Ubiquitous Learning Environments". 13 International Technology, Education and Development Conference. Valencia, Espa1a.
- Vel3zquez, Isabel; Sosa, Mabel y Digi3n, Leda (2020). "Hacia una propuesta de dise1o de Interfaz centrado en el usuario para promover creatividad desde el enfoque de las Neurociencias". *CODINOA*. (6), pp. 325-336
- Wenger, Etienne (1998). *Communities of practice: Learning, meaning and identity*. Cambridge University Press.

# CARACTERIZACIÓN DE ALMIDONES DE TUBÉRCULOS ANDINOS. APLICACIÓN EN EL DISEÑO DE ALIMENTOS

LAURA BEATRIZ ITURRIAGA<sup>1</sup>; ANA YANINA BUSTOS<sup>2</sup>;  
GONZALO CRUZ ORTIZ<sup>3</sup>; LOURDES TORRES QUINTEROS<sup>4</sup>;  
PABLO DANIEL RIBOTTA<sup>5</sup>; CRISTINA FERRERO<sup>6</sup>

## Resumen

El presente capítulo muestra algunos de los resultados obtenidos en el marco del proyecto "Estudio de las propiedades de almidones extraídos de fuentes ancestrales del Noroeste argentino. Análisis del potencial de reemplazo de almidón de maíz en alimentos". El trabajo describe la extracción y carac-

1 Doctora en Ciencias de la UNLP. FAyA, CIBAAL (UNSE-CONICET). Directora del proyecto.

2 Doctora en Ciencias Biológicas. FAyA, FHCSyS- UNSE, Centro de Investigación Biofísica Aplicada y Alimentos (CIBAAL/UNSE-CONICET)

3 Doctor en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agrarias-UNJu.

4 Estudiante de Ingeniería en Alimentos, FAyA, Becaria EV-CIN (CIBAAL/UNSE-CONICET)

5 Doctor de la Facultad de Ciencias Exactas. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos Córdoba (ICYTAC -CONICET).

6 Doctor en Ciencias Químicas. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos (CIDCA-CONICET).

terización de almidones extraídos de tubérculos andinos, en términos de rendimientos de extracción, pureza, composición proximal, tamaño de partícula, características morfológicas, coeficiente de consistencia, módulos viscoelásticos, entre otros. Se aborda, además, el estudio del proceso de elaboración de chuño y el efecto que tiene sobre las propiedades fisicoquímicas y reológicas de los almidones. Por último, se evalúa su aplicación en dos alimentos reales: galletitas libres de gluten y yogur firme bajo en grasa.

En general, los almidones estudiados presentan propiedades fisicoquímicas y reológicas similares e incluso superiores a las del almidón de papa comercial. Su incorporación en galletitas dulces libre de gluten mejoró todos los parámetros de calidad evaluados: atributos geométricos, crocancia, agrietamiento superficial y desarrollo de color.

Por otra parte, se evaluó la influencia del agregado de almidón nativo de papa andina (AN) y de chuño (ACH) como estabilizantes en la elaboración de yogur firme bajo en grasas. El agregado de AN y ACH modificó significativamente el grado de sinéresis, propiedades de flujo, viscoelásticas y texturales de los yogures evaluados en relación al yogur control y al yogur de referencia. Además, se observó óptima estabilidad microbiológica en todo el periodo de almacenamiento, respondiendo a los estándares del Código Alimentario Argentino.

Nuestros resultados demostraron que la incorporación de almidones de tubérculos andinos y chuño serían potenciales alternativas al almidón de papa comercial como ingrediente en la formulación de diferentes alimentos.

Palabras clave: Almidón; Tubérculos Andinos; Propiedades tecnológicas y funcionales, Galletas libre de gluten; Yogur

## Abstract

This chapter shows some of the results obtained in the framework of the project "Study of the properties of starches extracted from ancestral sources of Northwest Argentina. Analysis of the potential for replacing corn starch in food". The work describes the extraction and characterization of starches extracted from Andean tubers, in terms of extraction yields, purity, proximal composition, particle size, morphological characteristics, consistency coefficient, viscoelastic modulus, among others. It also addresses the study of the chuño elaboration process and its effect on the physicochemical and rheological properties of starches. Finally, its application in two real foods, gluten-free cookies and firm low-fat yogurt, is evaluated.

In general, the studied starches present physicochemical and rheological properties similar and even superior to those of commercial potato starch. Their incorporation in gluten-free sweet cookies improved all the quality parameters evaluated; geometric attributes, crunchiness, surface cracking and color development.

On the other hand, the influence of the addition of native Andean potato starch (NS) and chuño starch (CHS) as stabilizers in the elaboration of firm low-fat yogurt was evaluated. The addition of NS and CHS significantly modified the degree of syneresis, flow, viscoelastic and textural properties of the yogurts evaluated in relation to the control yogurt and the reference yogurt. In addition, optimum microbiological stability was observed throughout the storage period, meeting the standards of the Argentine Food Code.

Our results demonstrated that the incorporation of starches from Andean tubers and chuño would be potential alternatives to commercial potato starch as an ingredient in the formulation of different foods.

Keywords: Starch; Andean tubers; Technological and functional properties; Gluten-free cookies; Yogurt.

## Introducción

Actualmente se reconoce a la región andina como uno de los centros más importantes de origen y diversidad de cultivos en el mundo. En efecto, muchos de los cultivos alimenticios más importantes en el mundo, entre los que se destaca la papa, fueron domesticados bajo este sistema (National Research Council, 1989). Un rasgo característico del sistema agrícola andino es que está constituido por un grupo taxonómicamente muy diverso de cultivos de tubérculos y raíces andinas junto con otros cultivos de especies complementarias de granos y legumbres como, por ejemplo, el maíz, la quínoa, las habas y los lupines.

Los tubérculos andinos constituyen un importante recurso regional del noroeste argentino (NOA) y una potencial fuente alternativa de almidón. La optimización del proceso de extracción y la posterior caracterización de los almidones obtenidos permitirá detectar las variedades de tubérculos más apropiadas para su empleo como ingredientes en diferentes matrices alimentarias. Además, el desarrollo productivo de estos tubérculos andinos puede estimular el crecimiento económico, contribuir a reducir la pobreza y ayudar a la preservación del medio ambiente.

En este contexto, el presente capítulo muestra algunos de los resultados obtenidos en el marco del proyecto "Estudio de las propiedades de almidones extraídos de fuentes ancestrales del NOA. Análisis del potencial de reemplazo de almidón de maíz en alimentos". El trabajo revisa los principales hallazgos en relación con propiedades fisicoquímicas y funcionales de almidones extraídos de tubérculos andinos. Se estudia además

su aplicación en dos matrices de uso alimentario: galletitas libres de gluten y yogur firme bajo en grasa.

## Tubérculos andinos

Los tubérculos andinos cubren un grupo de raíces amiláceas que crecen en tierras altas (más de 3000 m de altitud) en la región andina, que en Argentina se limita a la Quebrada de Humahuaca, Puna y los valles altos de las provincias de Jujuy y Salta. Han sido consumidos durante más de 3000 años por pueblos andinos como incas, quechuas y aymaras (Goldner *et al.*, 2012). Entre ellos, los cultivos más extendidos son la papa andina (*Solanum tuberosum ssp. Andigenum*), oca (*Oxalis tuberosa* Molina) y papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas).

El tubérculo de papa (*Solanum tuberosum L*) se desarrolla como tallos subterráneos que exhiben brotes axilares y cicatrices y son ricos en almidón y proteínas de almacenamiento (Singh y Kaur, 2009). En efecto, una papa presenta aproximadamente un 80% de agua y un 20% de materia seca, donde el almidón es el componente más importante, ya que alcanza el 70% del total de sólidos.

Después de la papa, la oca es el tubérculo más común en la región andina (Pulgar Vidal, 2014). Este cultivo se ha desarrollado en la altura y se encuentra en las regiones de Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Colombia y Venezuela. También se la comercializa en Nueva Zelanda, Australia, México, Francia y Gran Bretaña tanto como alimento básico o como plantas ornamentales de jardín (National Research Council, 1989).

La papalisa o ulluco se cultiva en altitudes de 3000-3800 m, en la región central y sur de los Andes, incluyendo Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, Venezuela y Chile siendo desconocida fuera de la región Andina (Cadima *et al.*, 2003). Los tubérculos de papalisa son excelentes fuentes de proteínas, carbohidratos

y vitamina C (Cadima *et al.*, 2003). Debido a que los tubérculos son perecederos, los habitantes precolombinos utilizaron un proceso de congelación y secado al ambiente que aprovecha la ventaja de la diferencia de temperatura entre el día y la noche para obtener un producto conocido como "chuño". Este proceso se lleva a cabo principalmente con papa andina, pero también con otros tubérculos tales como la papalisa y la mashua (*Canna edulis* Cannaceae) (National Research Council, 1989). La conservación de la papa, bajo la forma de chuño, representa una ventaja extraordinaria para la distribución del producto y también permite utilizarlo convertido en harina en diversos alimentos cocidos.

En la actualidad, la cooperativa C.A.U.Que.Va. (Cooperativa Agrícola y Artesanal Unión Quebrada y Valles) reúne a un grupo de agricultores de 25 localidades de Jujuy y Salta. Se destacan los departamentos de Tumbaya, Tilcara, Humahuaca (provincia de Jujuy) e Iruya (provincia de Salta), donde los agricultores disponen de pequeñas parcelas, de alrededor de 1,25 hectáreas cada uno, para el cultivo. La producción de papas nativas y oca es de 5321,25 y 387 toneladas, respectivamente, durante la temporada de cosecha de enero a mayo. La producción se comercializa bajo diferentes formas con un grado variable de procesamiento. Algunas de las aplicaciones industriales son: papas frescas envasadas, puré de papas andinas deshidratado con energía solar, papas precocidas envasadas al vacío, caramelos de oca glaseada, entre otros<sup>7</sup>.

Los tubérculos andinos representan una potencial fuente alternativa al almidón de maíz, lo que permitirá incrementar su valor agregado.

7 Fuente: <http://www.cauqueva.org.ar/>

## Almidones de tubérculos andinos

El almidón es una mezcla de polisacáridos, amilosa y amilopectina y constituye la principal fuente de reserva de carbohidratos de las plantas superiores, necesaria para su germinación y posterior crecimiento. Se encuentra en los granos de cereales, las semillas de las leguminosas y en las frutas y en tubérculos en forma de gránulos insolubles en agua, cuya forma y dimensión son características de cada especie (Cruz Ortiz, 2017). En el caso de la papa, los gránulos son redondeados, de superficie lisa y tamaño variable, entre 10-100  $\mu\text{m}$ . Los almidones de diferentes fuentes botánicas difieren considerablemente en sus propiedades y se ha sugerido que cada gránulo en una población es diferente de los otros gránulos, tanto en su estructura fina como en sus propiedades (Martínez *et al.*, 2019).

Como ingrediente alimentario, el almidón es importante no solamente como fuente energética sino también porque sus propiedades físicas influyen en la textura y propiedades organolépticas de los alimentos. En efecto, el almidón puede interactuar, en términos fisicoquímicos, con uno o más de los componentes tales como el agua, azúcares libres, lípidos, proteínas, etc. El grado de interacción varía entre los distintos sistemas y produce un significativo efecto en las transiciones que sufre el almidón, tales como gelatinización, gelificación, templado, solubilidad y retrogradación.

Las propiedades funcionales del almidón, como su capacidad de espesar y gelificar en sistemas alimentarios, dependen principalmente de la relación amilosa: amilopectina, tamaño y distribución de los gránulos, entre otros.

Los almidones comerciales usados como aditivos se obtienen de las semillas de cereales, particularmente de maíz, trigo y de varios tipos de arroz y de tubérculos, los cuales son una fuente potencial y poco explorada (Altemimi, 2018). Sin embargo, los factores económicos y de rendimiento hacen que



la fécula de papa sea una excelente opción para aplicaciones alimentarias porque tienen una buena claridad y un sabor neutro. En este sentido, recientemente, *Ipomoea batatas*, llamada comúnmente batata, papa dulce, patata dulce o camote, se ha utilizado como una fuente importante de almidón, especialmente en los países desarrollados (Okoye *et al.*, 2013).

### **Extracción y caracterización de almidones de tubérculos andinos**

Estudios realizados por nuestro grupo de trabajo permitieron optimizar los procesos de extracción a escala laboratorio de almidones de tubérculos andinos y, además, caracterizar sus propiedades fisicoquímicas para ser empleados como potencial reemplazo de almidones comerciales (Cruz *et al.*, 2016; Cruz., 2017). En la primera etapa, se extrajo almidón de dos tubérculos andinos: oca y papalisa, y de cuatro variedades de papas andinas: Waycha, Imilla, Cuarentona y Rosadita (Figura 1), según el método descrito por Cruz *et al.*, (2016).

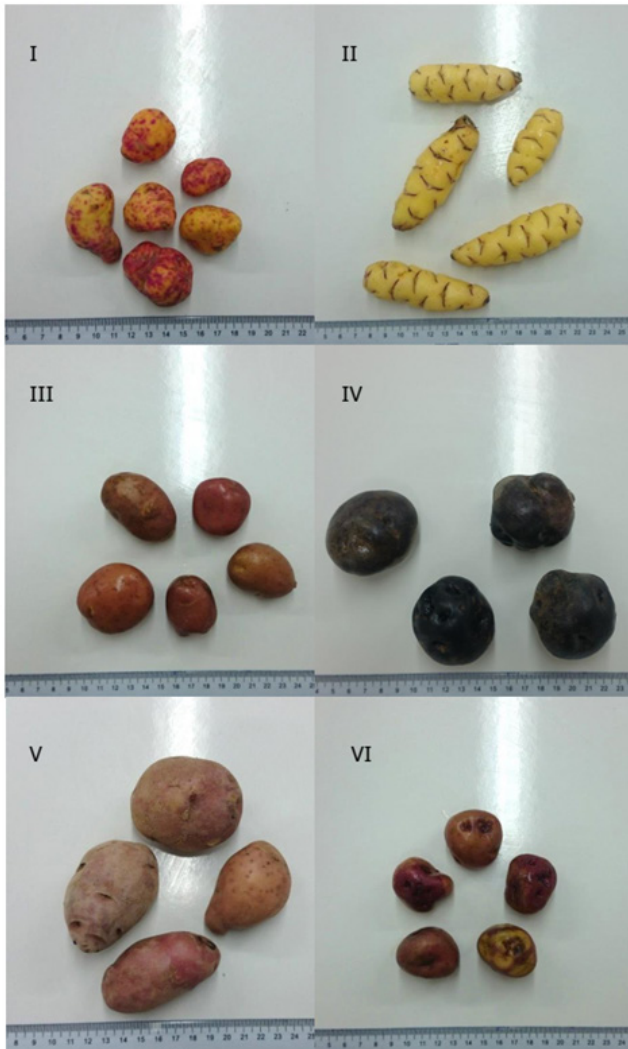


Figura 1. Distintas variedades de tubérculos andinos estudiadas:  
I. Papalisa, II. Oca, III. Cuarentona, IV. Imilla, V. Rosadita, VI. Waycha.  
Extraído de tesis doctoral de Gonzalo Cruz Ortiz.

La pureza de los almidones obtenidos fue elevada y osciló entre 97,46% hasta 99,31%. Sin embargo, los rendimientos fueron muy variables y mostraron valores desde 23,6 a 31,0% en base seca, entre las variedades de papas andinas y 15,1 % y 23,2 % para papalisa y oca respectivamente. Esto se debe a que la forma, el tamaño y las características irregulares de la superficie de los tubérculos (ojos y hendiduras) afectaron la porción utilizable. En efecto, la porción descartada por pelado fue alta, con valores de 24,6% para tubérculos de mayor calibre (cuarentona) y el 52,8% para los más pequeños (papalisa). Otro factor que afecta el rendimiento de extracción es el contenido de materia seca que presentan las distintas variedades. Sin embargo, en nuestro caso este efecto quedó enmascarado por las pérdidas por pelado.

Los estudios de composición proximal mostraron que el contenido de humedad fue del 15% p/p, en promedio, valor significativamente menor que el del almidón control (19,5%), mientras que el contenido de cenizas osciló entre 0,24 y 1,14% p/p, en general más elevado que en el control (0,33% p/p). Por otra parte, la concentración de proteínas se presentó en un rango entre 0,29 y 1,18% p/p y los lípidos entre 0,14 y 0,34% p/p, valores que, en general, se encuentran en el mismo orden que el almidón control.

Las observaciones con microscopía electrónica de barrido (SEM, por sus siglas en inglés *Scanning Electron Microscopy*) revelaron algunas diferencias en la forma de los gránulos de almidón (Figura 2). En efecto, los gránulos de almidón de papa andina, como los de Rosadita, Imilla, Cuarentona y Waycha presentaron un tamaño grande, forma ovalada, algo irregular, sin poros en la superficie y exhibieron un *hilum* excéntrico, típico de los almidones de papa (Liu *et al.*, 2009). Los gránulos de papalisa, en cambio, mostraron una forma redondeada y alargada similar a una "coma" con una protuberancia en uno de sus extremos, debido a que son de otro genotipo. Asimis-

mo, los gránulos de oca fueron diferentes al resto y resultaron de una forma elíptica. Las micrografías también mostraron superficies lisas en todos los gránulos, con algunas capas delgadas similares a escamas, lo que podría dar cierta evidencia de la presencia de una membrana granular (Debet y Gidley, 2007).

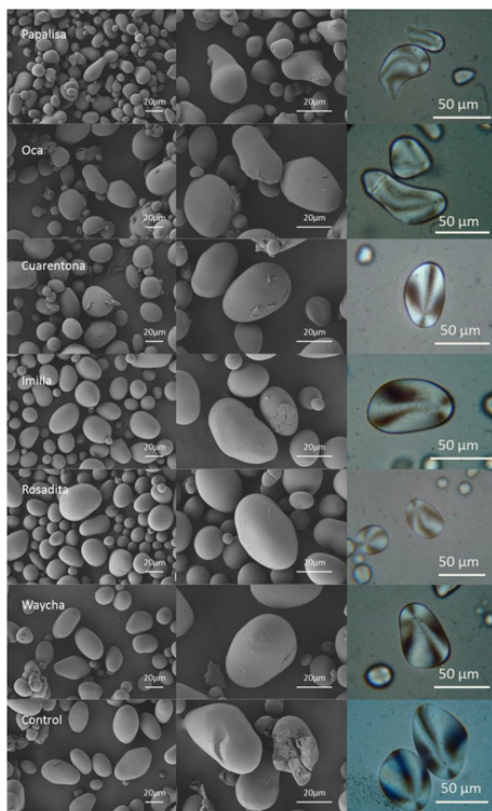


Figura 2. Micrografías obtenidas por microscopía electrónica de barrido (SEM) y micrografías ópticas de almidones aislados de papas y tubérculos andinos. Desde la izquierda, las dos primeras son imágenes SEM de 600x y 1500x; la tercera imagen fue tomada bajo luz polarizada en un aumento de 1000x.

El tamaño medio D [4,3] de los gránulos osciló entre 23,3 y 48,11  $\mu\text{m}$ . Por otra parte, el almidón de papalisa fue el de menor contenido de amilosa (20,4% p/p), mientras que el de Rosadita tuvo el mayor valor (28,03% p/p).

El análisis reológico mostró algunas diferencias en el comportamiento de los almidones extraídos de los tubérculos de oca y papalisa respecto de los almidones de papas andinas y del almidón control comercial. Estas diferencias podrían ser principalmente relacionadas con sus menores valores de tamaño medio y de contenido de amilosa. Sin embargo, en general, los almidones evaluados presentaron interesantes propiedades fisicoquímicas y reológicas y podrían constituir una fuente potencial de reemplazo en el diseño de alimentos.

### **Elaboración de chuño a escala laboratorio. Extracción y estudio de las propiedades fisicoquímicas de su almidón**

Las poblaciones establecidas en la región andina llegaron a domesticar más de 2.000 variedades de papas. Además, desarrollaron tecnologías de procesamiento basadas en la congelación y la deshidratación de las papas para elaborar "chuño", un producto seco y nutritivo que puede ser almacenado por tiempos prolongados para luego emplearse como ingrediente en comidas típicas de la región (Hurtado, 2000). El secado por congelación se produce en la naturaleza a través de los efectos combinados de calentamiento solar, vientos fríos y secos y la atmósfera enrarecida de las regiones montañosas (Cruz Ortiz, 2017). Dichas tecnologías se hallan vigentes, gracias a la continua práctica de los agricultores andinos, en la elaboración de productos tales como la tunta o moraya y el chuño negro, entre otros, que son alimentos de alto consumo y con importancia comercial en toda la región andina (De Han *et al.*, 2010).

Por ello, otro de los objetivos planteados en este estudio,

fue diseñar y estandarizar un proceso de elaboración de chuño tradicional a escala laboratorio para identificar los cambios en la microestructura, en las propiedades fisicoquímicas y reológicas de almidón de chuño.

Se seleccionó la variedad Rosadita (*Solanum tuberosum* ssp. andigenum), debido a que es la más cultivada y empleada por los pobladores de la Quebrada de Humahuaca para preparar chuño. Brevemente, el proceso consiste en la selección y lavado de papas andinas apropiadas, congelado a  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  o  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , pelado por fricción entre ellas, prensado para eliminar el agua y tratado con bisulfito de sodio y ácido cítrico. Luego de este proceso se procede al escurrido, secado (3 días a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) en horno convencional y posterior almacenamiento en bolsas selladas (Cruz, 2017).

Una vez obtenido el chuño, se extrajo almidón para estudiar sus propiedades y compararlas con las observadas en el almidón extraído de la papa fresca. A partir de los ensayos realizados, se concluyó que no hubo diferencias importantes respecto de los almidones de papa fresca, con relación a la morfología, grado de hinchamiento, contenido de almidón dañado y contenido de amilosa. En cambio, sí se observaron diferencias en el contenido de fosfatos, temperatura de gelatinización y propiedades reológicas.

### **Aplicación de almidones de tubérculos andinos en el diseño de alimentos**

Con base en los resultados obtenidos, se evaluó el efecto de la incorporación de almidones de tubérculos andinos sobre los atributos de calidad tecnológica y sensorial de dos matrices alimentarias: galletitas dulces libres de gluten y yogur firme bajo en grasas.

## **Elaboración y caracterización de galletitas libres de gluten formuladas con almidones de tubérculos andinos**

Los almidones obtenidos y caracterizados se emplearon para elaborar galletitas dulces antiaglutinantes libres de gluten.

En las últimas décadas, se ha registrado una creciente demanda de alimentos libres de gluten (ALG) por parte de personas intolerantes a algunas proteínas que se encuentran en el trigo, el centeno y la cebada y sus variedades híbridas. Esto conduce a una condición de salud conocida como enfermedad celíaca o enteropatía sensible al gluten. La enfermedad celíaca afecta a alrededor del 0,2-1,0% de la población mundial y el número está aumentando constantemente (King *et al.*, 2020). Los ALG se elaboran a partir de una variedad de ingredientes para lograr matrices con propiedades de textura similares a los alimentos con gluten. Dado que este es la fracción estructurante en productos panificados, su sustitución representa un desafío tecnológico que hasta el presente no ha sido solucionado. En general, en las formulaciones de panificados sin gluten se suele reemplazar la harina de trigo por mezclas de harinas y almidones de diversas fuentes como maíz, arroz, mandioca y, más recientemente, amaranto, quínoa y trigo sarraceno (Cruz, 2017). Se agregan, además, hidrocoloides como goma xántica, celulosas modificadas, galactomananos, entre otros (Gallagher *et al.*, 2004) para ayudar a formar la estructura en ausencia de gluten. El tipo y la adecuada combinación de los almidones es fundamental en la calidad del producto final. En este sentido, los almidones de papa pueden ser una fuente apta y con buenas propiedades para su aplicación en este tipo de matrices alimentarias (Abdel-Aal, 2006). En particular, no se han reportado estudios sobre la aplicación de almidones de tubérculos andinos para la elaboración de ALG.

Particularmente, las galletas dulces antiaglutinantes se caracterizan por un desarrollo nulo o limitado de la red de gluten

y por ello son buenas candidatas para el desarrollo de ALG.

En nuestro trabajo, las galletas fueron elaboradas siguiendo el método propuesto por Sarabhai y Prabhasankar (2014) con algunas modificaciones, ya que se incorporó almidón de papa andina obtenido de tubérculos frescos y chuños en reemplazo de harina de arroz (en proporciones del 10, 20 y 30% p/p). En las galletitas obtenidas se realizaron diferentes evaluaciones tecnológicas y sensoriales.

Alguno de los parámetros evaluados fueron el diámetro y el espesor, y se consideró de mejor calidad a aquellas galletitas que presentan un mayor diámetro y un mínimo espesor (Blanco Canalis *et al.*, 2016). El segundo atributo de calidad a tener en cuenta en una galletita es la textura, de la que se espera que resulte tierna y crocante a la mordida. Además, es deseable que las galletitas adquieran una superficie rugosa producto de la liberación de los gases durante el horneado, ya que favorece la evaporación del agua interior y las hace más crocantes. En relación con la aceptabilidad del producto, el color es uno de los primeros atributos que registra el consumidor, por eso este parámetro fue especialmente considerado. Por último, se realizó la evaluación sensorial con aquellas galletitas que habían demostrado mejores características tecnológicas a los fines de valorar su aceptabilidad.

Los resultados de caracterización obtenidos indican que la incorporación de almidones de tubérculos andinos reduce el contenido de humedad final de la galleta independientemente de la proporción en que se incorporen en la mezcla. Por otra parte, la incorporación de almidones de chuño no afecta el contenido de humedad final de la galleta. Sin embargo, para todos los casos, los valores de humedad encontrados se encuentran en el intervalo característico de este tipo de galletitas dulces que es de 1-5% (Chevallier *et al.*, 2002).

Entre los atributos de calidad evaluados, se observó que el agregado de almidones de tubérculos andinos generó mejores



características geométricas, mientras que la incorporación de almidones de chuño no las afectó. La incorporación de almidones de papalisa, Cuarentona, Rosadita y chuños mejoró la calidad de las galletitas, respecto de la referencia, ya que resultaron más tiernas y crocantes a la mordida (Figura 3).

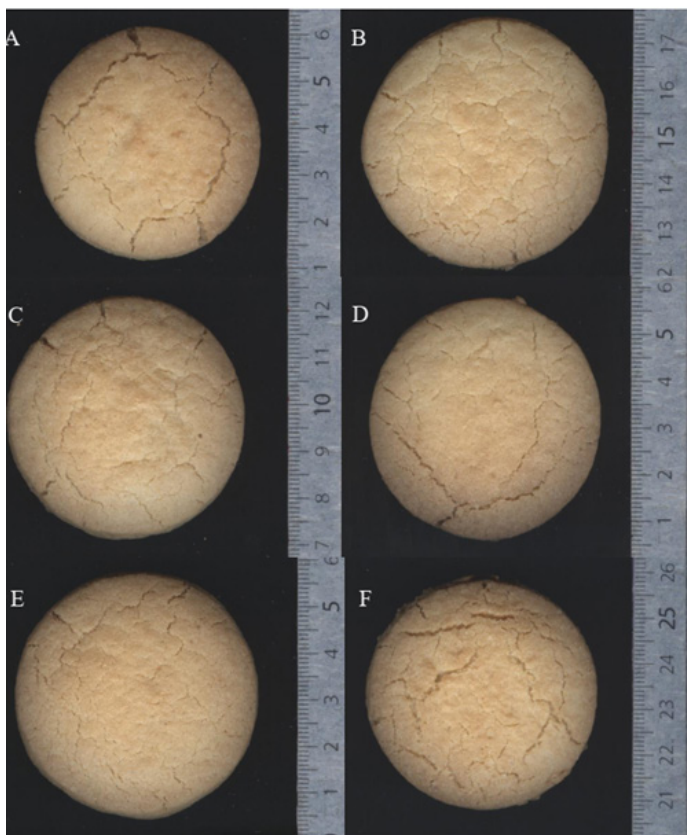


Figura 3. Aspecto global de galletitas dulces crocantes elaboradas con almidones de tubérculos andinos. A. Referencia (elaborada con la receta tradicional), B. Control (elaborada con almidón de papa comercial), C. Papalisa, D. Oca, E. Cuarentona, F. Rosadita.

La incorporación de almidones de tubérculos andinos no produjo cambios en el agrietamiento superficial de las galletitas; en este aspecto se diferenció del almidón de papa comercial, el cual incrementó el agrietamiento a partir de un 20% de reemplazo. Sin embargo, los almidones de chuño aumentaron el agrietamiento en la superficie de las galletitas, lo cual es un atributo de calidad deseado. En general, los atributos de color obtenidos por las galletitas con incorporación de almidones de tubérculos andinos y chuños se correspondieron con los valores de aceptabilidad. En lo que respecta al análisis sensorial, las galletas elaboradas con almidón de oca presentaron la mejor apariencia visual y sabor.

Los resultados obtenidos indican que la incorporación de almidones de tubérculos andinos provocó cambios en los factores de calidad de la galleta y en la apreciación de los jueces en el análisis sensorial.

### **Elaboración de yogur firme bajo en grasa con almidones de papa andina**

Para dar continuidad a nuestros estudios de aplicación de almidones de tubérculos andinos en matrices alimentarias, nos propusimos evaluar el efecto de su inclusión en yogures firmes bajos en grasas para mejorar sus atributos tecnológicos y sensoriales.

Actualmente, el consumo del yogur es un mercado en expansión a nivel mundial, principalmente favorecido por la mayor conciencia del consumidor contemporáneo del vínculo entre la dieta y la salud, lo que promueve la incorporación del yogur en su dieta (Adolfsson *et al.*, 2004). Por ello, la industria láctea es una de las más innovadoras del sector alimenticio, lo cual se ve reflejado en una oferta cada vez más amplia de productos (yogur entero, descremado, con frutas, con cereales,

enriquecido en calcio, bebible, firme, etc.). En este contexto, la ciencia y la tecnología se enfrentan al desafío constante de ofrecer productos novedosos, saludables y de alta calidad. Las variedades de yogures bajos en grasa, por ejemplo, constituyen un segmento de impactante crecimiento en el mercado. Sin embargo, la omisión de la grasa introduce problemas de calidad tales como disminución de la textura y viscosidad y aparición de sinéresis o desuerado (Bustos *et al.*, 2018). Por consiguiente, resulta necesaria la búsqueda de nuevos estabilizantes que contribuyan a desarrollar productos saludables con óptimas propiedades tecnológicas, sin alterar sus propiedades sensoriales. Con base en los resultados obtenidos previamente, proponemos que el almidón de papas andinas podría constituir una alternativa para mejorar las características globales de yogures bajos en grasas.

Se seleccionó la variedad de papa andina *Solanum tuberosum* variedad Rosadita y se extrajo almidón antes (almidón nativo) y después de someterla al proceso de obtención de chuño (almidón de chuño). Las diferentes variedades de yogur se prepararon siguiendo una formulación estándar a partir de leche descremada en polvo (10% p/v) sin (YC) y con la adición de 2,5% (p/v) de almidón de papa andina (YN), de "chuño" (YCH) y almidón Sigma comercial (YS). Los almidones, disueltos en leche en proporción 1:10, se agregaron de modo previo al tratamiento térmico (90 °C, 5 min con agitación). La fermentación de la leche se realizó a 45 °C en baño de agua hasta pH 4,5, utilizando un fermento láctico comercial liofilizado (*Streptococcus thermophilus* y *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, Chr. Hansen ®).

En las diferentes formulaciones se determinó valor de pH, grado de sinéresis, viscosidad, propiedades reológicas y texturales y además análisis microbiológico a diferentes tiempos durante un período de almacenamiento de 28 días.

Después de un período de 6 h, las muestras alcanzaron

valores de pH de 4,5, sin modificaciones en los tiempos de producción debido a la adición de los almidones. Durante el almacenamiento, los YC y YCH mostraron una ligera disminución gradual de pH. Estos hallazgos son atribuidos principalmente a la producción de ácido láctico durante el almacenamiento y fueron similares a los reportados por Altemimi, (2017). Las variedades de YN y YS no mostraron variaciones en todo el almacenamiento.

En relación con los parámetros de calidad evaluados, nuestros ensayos demostraron que el agregado de almidones nativos y de chuño mejoraron significativamente las propiedades del producto, que obtuvo los mejores resultados con el agregado de almidón nativo al 2,5% (p/v).

La sinéresis (o "desuerado") es una característica indeseable que presentan los subproductos lácteos, que consiste en una capa de líquido (suero) separado del sólido del producto. Esta separación espontánea de suero afecta negativamente la percepción del producto por parte del consumidor (Lee y Lucey, 2010).

En relación con la sinéresis, los mayores valores se observaron en el yogur control, seguido por el yogur Sigma, efecto que incrementó significativamente con el tiempo de almacenamiento. Por el contrario, el agregado de las dos variedades de almidones de papas andinas redujo la separación espontánea de suero en todo el período evaluado, efecto que fue más pronunciado en la formulación con almidón nativo al 2,5%.

Las propiedades reológicas del yogur son muy importantes en el control de calidad, procesamiento y almacenamiento de un producto, así como en la predicción de su textura, que a su vez es un parámetro organoléptico determinante en la aceptación por parte del consumidor (Hernández, 2003).

En términos generales, los yogures que contienen almidones de papa andina exhibieron valores de viscosidad aparente más altos que los observados en el yogur control después

de 1 día de almacenamiento, tendencia que se mantuvo hasta el final del ensayo. Esto podría deberse a que los gránulos de almidón hinchado actúan como rellenos en la red de proteínas, lo que fortalece así sus propiedades. Los resultados de viscosidad observados en el yogur control respecto de las formulaciones con almidones parecen estar relacionados con una mayor propensión de la red de gel a expulsar agua (sinéresis).

Las muestras analizadas mostraron claras diferencias en cuanto a sus propiedades reológicas fundamentales; esto demuestra que la adición de almidones nativos y de chuño a los yogures bajos en grasa contribuye a la formación de sistemas gelificados más estables. Las medidas de textura presentaron una tendencia similar.

Nuestros resultados con almidones andinos (Figura 4) son similares a los reportados por otros autores para formulaciones de yogures con agregado de almidones de maíz, maíz waxy y tapioca modificados. En efecto, los autores informan incremento de la sinéresis en yogures control sin estabilizantes luego de 15 días de almacenamiento y una significativa reducción del desuerado con el agregado de los almidones modificados (Lobato-Calleros *et al.*, 2014). También se informó que la adición de almidón de batata, en concentraciones entre 0,75% y 1%, proporciona reducción de la sinéresis y parámetros sensoriales aceptables (Altemimi, 2018). Por último, los yogures con agregado de almidones de plátano modificados exhibieron mayores módulos viscoelásticos dinámicos y viscosidad aparente, en coincidencia con nuestros resultados. Esto puede deberse a que exhibieron una mejor unión al agua que el almidón nativo porque se incorporaron grupos hidrofílicos (Waliszewski *et al.*, 2003).

En relación con la estabilidad microbiana y vida de estante, durante todo el tiempo de almacenamiento, en las muestras evaluadas no se observó crecimiento de bacterias coliformes, levaduras ni mohos, mientras que las bacterias lácticas mantu-

vieron un mínimo de  $10^7$  UFC / mL, con lo que responden a los estándares del Código Alimentario Argentino (capítulo VIII, Art 576 inciso 5.3).

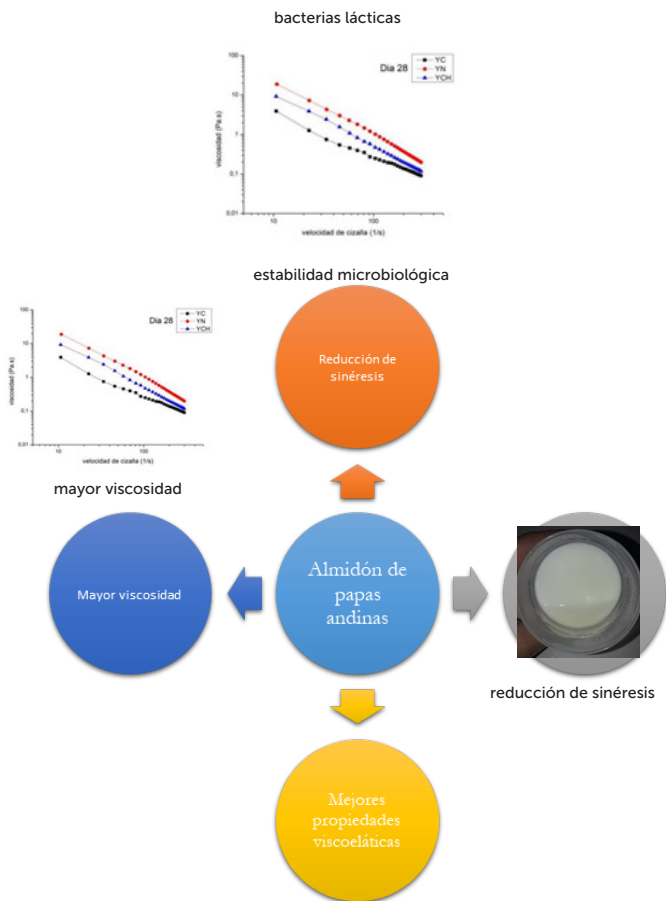


Figura 4. Atributos de calidad de yogur firme bajo en grasas elaborado con almidón de papas andinas.

## Conclusiones

Las investigaciones desarrolladas en el marco del proyecto "Estudio de las propiedades de almidones extraídos de fuentes ancestrales del noroeste argentino. Análisis del potencial de reemplazo de almidón de maíz en alimentos" proporciona información nueva y relevante sobre las propiedades físico-químicas de almidones de tubérculos andinos.

La aplicación de estos almidones en alimentos reales, tales como galletas dulces libres de gluten y yogur firme bajo en grasas indican que estos podrían ser empleados como hidrocoloides alternativos; en consecuencia, esto constituye una estrategia de revalorización de estos ingredientes ancestrales.

## Bibliografía

- Abdel-Aal, El-Sayed (2006). "Functionality of starches and hydrocolloids in gluten free foods". En Gallagher, E., (Ed.) *Bakery Products: Science and Technology*. pp. 200-224. Blackwell Publishing Ltd., Oxford, UK.
- Adolfsson, Oskar, Simin Nikbin Meydani; Robert Russell (2004). "Yogurt and gut function". *The American Journal of Clinical Nutrition*. (80), pp. 245-256.
- Altemimi, Ammar B. (2018). "Extraction and Optimization of Potato Starch and Its Application as a Stabilizer in Yogurt Manufacturing". *Foods*. 7(2), 1-11.
- Blanco Canalis, Maria Soledad; María Eugenia Steffolani; Alberto Edel León y Pablo Daniel Ribotta (2017). "Effect of different fibers on dough properties and biscuit quality". *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 97(5), pp. 1607-1615.
- Bustos, Ana Yanina; Lourdes Torres Quinteros; Carla Luciana Gerez; Laura Beatriz Iturriaga (2018). "Yogur, alimento de base láctea ancestral de gran vigencia actual. Principales aspectos nutricionales, funcionales y tecnológicos". *IDITEC*. (7), pp. 30-40.
- Cadima, Ximena; Willman García; Janett Ramos (2003). *Conservación y producción del cultivo de la papalisa (Ullucus tuberosus)*. Cochabamba, Bolivia: Área Temática de Recursos Genéticos (RRGG)- Fundación PROINPA.
- Chevallier, Sylvie; Guy Della Valle; Paul Colona; Bertrand Bro-yart; Gilles Trystram (2002). "Structural and chemical modifications of short dough during baking". *Journal of Cereal Science*. 35(1), pp. 1-10.
- Cruz, Gonzalo; Pablo Daniel Ribotta; Cristina Ferrero; Laura Beatriz Iturriaga (2016). "Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas)". *Starch - Stärke*. (68), pp. 1084-1094.
- Cruz, Gonzalo. (2017). "Caracterización y aplicación de almi-



- dones de tubérculos andinos”. Tesis doctoral.
- De Haan, Stef; Gabriela Burgos; Jesus Arcos; Raul Canto; Maria Scurrah; Elisa Salas; Merideth Bonierbale (2010). “Traditional Processing of Black and White Chuño in the Peruvian Andes: Regional Variants and Effect on the Mineral Content of Native Potato Cultivars”. *Economic Botany*. 64(3), pp. 217-234.
- Debet, Martine; Michael J Gidley (2007). “Why do gelatinized starch granules not dissolve completely? Roles for amylose, protein, and lipid in granule “ghost” integrity”. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(12), pp. 4752–4760.
- Gallagher, Eimear; Ronan T. Gormley; Elke Arendt (2004). “Recent advances in the formulation of gluten-free cereal-based products”. *Trends in Food Science and Technology*. 15(3–4), pp. 143–152.
- Goldner, María C; Oscar E. Pérez; Ana María R. Pilosof, Margarita Armada Pérez (2012). “Comparative study of sensory and instrumental characteristics of texture and color of boiled under-exploited Andean tubers”. *LWT - Food Science and Technology*. 47(1), pp. 83–90.
- Hurtado, Ciro (2000). *La Alimentación en el Tahuantinsuyo*. Lima, Perú: Instituto de Cultura Alimentaria Andina, Editorial San Marcos.
- King et al., (2020). “Incidence of Celiac Disease Is Increasing Over Time: A Systematic Review and Meta-analysis”. *The American Journal of Gastroenterology*. 115(4), pp. 507-525.
- Lee, W. J. y Lucey, J. A. (2010). “Formation and Physical Properties of Yogurt”. *Asian Australas. J. Anim. Sci.* 23(9), pp. 1127-1136.
- Liu, Q., Donner, E., Tarn, R., Singh, J. y Chung, H. J. (2009). “Advanced Analytical Techniques to Evaluate the Quality of Potato and Potato Starch”. En Singh, L. y Kaur, J., (eds.) *Advances in Potato Chemistry and Technology*. (pp. 221–248). New York: Academic Press.
- Lobato-Calleros, C., Ramírez-Santiago, C., Vernon-Carter, E.J. y Álvarez-Ramírez J. (2014). “Impact of native and chemi-

- cally modified starches addition as fat replacers in the viscoelasticity of reduced-fat stirred yogurt". *Journal of Food Engineering*. (131), pp. 10-115.
- Martínez, P, Peña, F, Bello-Pérez, LA, Núñez-Santiago, C., Yee-Madeira, H. y Velezmoro, C. (2019). "Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region". *Food Chemistry*. X 2, pp. 1-8.
- National Research Council (1989). *The lost crops of the Incas*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Okoye, Joseph; Chioma Doris Obi (2016). "Effect of Sweet Potato Starch Addition on the Proximate Composition, Energy Content and Sensory Properties of Stirred Yoghurts". *International Journal of Science and Research*. 5; 5 pp. 929-931.
- Pulgar Vidal, Javier (2014). "Las Ocho Regiones naturales del Perú". *Terra Brasilis (Nova Série)*. (3), pp. 2-17.
- Sarabhai, Swati; Pichan Prabhasankar (2014). "Influence of whey protein concentrate and potato starch on rheological properties and baking performance of Indian water chestnut flour based gluten free cookie dough". *LWT - Food Science and Technology*. 63(2), pp. 1301-1308
- Singh, Jaspreet; Lovedeep Kaur (2009). *Advances in potato chemistry and technology* (First Edition). Burlington, MA., USA: Editorial Academic Press.
- Waliszewski, Krzysztof; Maria Aparicio; Luis Bello; José Monroy. (2003). "Changes of banana starch by chemical and physical modification". *Carbohydrate Polymers*. 52(3), pp. 237-242.

# TECNOLOGÍA Y VALOR AGREGADO DE MADERAS, SUS DERIVADOS Y SUBPRODUCTOS DEL SECTOR FORESTOAGRÍCOLA

ESTELA MARGARITA PAN<sup>1</sup>; JUAN CARLOS MEDINA<sup>2</sup>;  
MAXIMILIANO UMLANDT<sup>3</sup>; VANESA JIMÉNEZ<sup>4</sup>;  
FELIZA BENÍTEZ<sup>5</sup>; AGUSTÍN RUÍZ<sup>6</sup>;

## Resumen

El objetivo de este programa de investigación fue el de valorizar la materia prima proveniente de residuos agrícolas, de resi-

1 Directora del proyecto 23B/138. MSc. Ingeniera en Industrias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

2 Director del proyecto 23B/139. Dr. Ingeniero en Industrias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

3 Ingeniero en Industrias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

4 Ingeniera en Industrias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

5 Mgter. Diseñadora. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

6 Ingeniero en Industrias Forestales. Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales (UNSE).

duos forestales y de madera de plantaciones mejoradas genéticamente, para contribuir a la elaboración final de productos de alto valor agregado.

La razón de estudiar los objetivos abordados en este programa que trata sobre la elaboración de productos, como lo son los paneles aglomerados, surge del uso indiscriminado de nuestros recursos naturales, que a lo largo del tiempo fue debilitando el equilibrio ambiental y dio lugar a que los seres humanos conscientes de esta situación comenzaran a realizar estudios e investigaciones en pos de restablecer dicho equilibrio.

Dentro del sector forestal, los esfuerzos están orientados a hacer un uso racional de sus recursos, mediante el manejo y preservación de los bosques y promoviendo la utilización de su materia prima. Una de las formas es a través del aprovechamiento de residuos, por eso, estudios realizados aseguran que el sector forestoindustrial es un área que genera grandes volúmenes de residuos con la ventaja de que los mismos constituyen una potencial fuente de reutilización para cubrir diferentes necesidades.

La madera sólida proveniente de bosques implantados y nativos presenta un déficit y es un recurso muy escaso que cada vez está más valorizado; esto constituye una preocupación ambiental.

Para la elaboración de los paneles aglomerados se utilizó, por un lado, madera de bajo valor genéticamente mejorada, como es el caso del *Eucalyptus tereticornis* y, por otro lado, residuos tales como la cáscara de maní, desechos de carpintería y corteza de quebracho blanco.

Palabras clave: *Eucalyptus tereticornis*, residuos de carpintería, cáscaras de maní, corteza de quebracho blanco, paneles aglomerados.

## Abstract

The objective of this research program was to value the raw material from agricultural residues, forest residues and wood from genetically improved plantations to contribute to the final elaboration of high added value products.

The reason to study the objectives addressed in this program that deals with the elaboration of two products, such as Agglomerated Panels, arises from the indiscriminate use of our natural resources, which over time has weakened the environmental balance, resulting in human beings aware of this situation will begin to carry out studies and research in order to reestablish this balance.

Within the forestry sector, efforts are aimed at making a rational use of its resources, through the management and preservation of forests and promoting the use of their raw material. One of the ways is through the use of waste, therefore, studies carried out ensure that the industrial forestry sector is an area that generates large volumes of waste with the advantage that they constitute a potential source of reuse to meet different needs.

Solid wood from implanted and native forests has a deficit, being a very scarce resource that is increasingly valued, constituting an environmental concern.

For the elaboration of the aforementioned agglomerated panels, genetically improved wood of low value was used, as is the case of *Eucalyptus tereticornis* and, on the other hand, residues, such as peanut shell, carpentry waste and white quebracho bark.

Keywords: *Eucalyptus tereticornis*, woodworking waste, peanut shells, white quebracho bark, particleboard.

## Introducción

El presente trabajo muestra los avances obtenidos durante el desarrollo de un programa titulado "Evaluación de la calidad de paneles OSB y aglomerados mediante parámetros tecnológicos, elaborados a partir de madera joven proveniente de ecosistemas implantados y residuos agrícolas, para ser utilizados con fines estructurales y convencionales". Este está integrado por dos proyectos de investigación: "Determinación de la calidad estructural de paneles OSB elaborados a partir de madera proveniente de plantaciones en Santiago del Estero y Litoral Argentino para su utilización en construcciones con madera" (Código N° 23B/138), cuya directora es la MSc. Ing. Estela Pan y "Desarrollo de procesos y productos de paneles aglomerados basados en residuos de madera y de la agricultura" (Código N° 23B/139), cuyo director es el Dr. Ing. Juan Carlos Medina.

*¿Por qué se LLEVAN A CABO estos dos proyectos?*

En términos generales, la madera sólida proveniente de bosques implantados y nativos presenta un déficit pues es un recurso escaso que cada vez está más valorizado; esto constituye una preocupación ambiental. Es por ello que la búsqueda de materia prima alternativa representa un desafío debido a que ésta no debe comprometer la calidad del producto.

Santiago del Estero es una provincia con una larga trayectoria en la explotación del bosque nativo y actualmente se está iniciando en el cultivo y aprovechamiento de bosques implantados. Sin embargo, algunas de sus principales especies, como son el quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht) y el algarrobo (*Prosopis* sp.), presentan condiciones que hacen que la utilización de su madera no sea lo suficientemente valorada.

El Ministerio de Agroindustria de la Nación (2017), en su

Informe sobre el Relevamiento Censal de Aserraderos en la provincia de Santiago del Estero, destaca que el 99,7% de las especies utilizadas en la provincia como materia prima es nativa y solo un 0,3% corresponde a especies cultivadas. Dentro del primer grupo, el 92% corresponde a quebracho blanco y quebracho colorado; ambos destinados, en su mayoría, a la fabricación de durmientes para ferrocarril y un 7% se refiere a algarrobo usado para la fabricación de muebles.

El quebracho blanco es una especie que posee muy buenas propiedades tecnológicas, sin embargo, el problema en el secado y su elevada inestabilidad dimensional hacen que la madera sea usada en la elaboración de productos de bajo valor agregado, como varillas y postes (Martínez *et al.*, 2008). La demanda de estos productos de primera transformación de la madera produce grandes cantidades de residuos, uno de ellos es su corteza que, al cubicarse los troncos, queda descartada de la industrialización; así, se convierte en un abundante subproducto con buenas características para ser insertado, nuevamente, en otros procesos productivos

La creciente utilización del algarrobo también para leña, forraje y alimentos hace que este recurso forestal sea explotado sin tener en cuenta los principios básicos de un aprovechamiento racional y sostenido (Juárez de Galindez *et al.*, 2005). Para cubrir el déficit entre oferta y demanda, es necesario disponer de bosques implantados de esta valiosa especie. En Santiago del Estero, actualmente se encuentran en vigencia planes del Estado Nacional que incentivan la forestación (Ley Nacional 25.080/99 y su reforma Ley 26.432/08); el algarrobo blanco es una de las especies promocionadas para realizar plantaciones comerciales (Coronel de Renolfi *et al.*, 2013).

En relación a las especies del género *Eucalyptus*, han sido subutilizadas en la producción de pulpa o como combustible. Actualmente, en Argentina, se están desarrollando plantaciones de *Eucalyptus* en los procesos de transformación primaria,

para la elaboración de madera aserrada y chapas de debobinados. Hoy existen plantaciones de *Eucalyptus* provenientes de materiales genéticos de alta calidad a partir de los cuales se desea obtener productos de mayor aptitud y valor agregado. Como la madera de esta especie presenta problemas durante su aserrío debido a sus tensiones de crecimiento, resulta atractiva para ser utilizada como materia prima en la elaboración de paneles aglomerados (INTA – SAGyP, 1995; Sánchez Acosta, 1995; y Salto, 2008).

En Santiago del Estero, las especies del género de *Eucalyptus* que demostraron tener potencial para la producción de madera son el *Eucalyptus camaldulensis* Dennh y el *Eucalyptus tereticornis* Smith. En la Estación Experimental Fernández de la ciudad de Fernández, Santiago del Estero, Argentina, se encuentra instalado un ensayo de mejoramiento genético de *Eucalyptus tereticornis* Smith, cuyo objetivo es determinar las mejores familias y progenies para producción de madera (Salto, 2008).

Con respecto a la industria manisera, Argentina participa con un 3% de la producción mundial de maní, lo cual es un volumen relativamente bajo, pero, debido al escaso consumo interno, esto le permite volcar prácticamente la totalidad de lo producido en el mercado internacional. Su producción se concentra principalmente en la provincia de Córdoba (88%) (Secretaría de Agroindustria, 2019). La producción nacional de maní en caja alcanzó 976.375 toneladas en la campaña 2019/2020, siendo el 30 % del total en masa correspondiente a las cajas o cáscaras del maní<sup>7</sup>. Consideradas un residuo agroindustrial, las cáscaras de maní disponibles en el país constituyen un recurso

7 <http://www.camaradelmani.org.ar/espanol/mani-la-pri-mera-estimacion-de-la-campana-proyecta-caida-de-rin-des-y-de-la-produccion-nacional-infocampo/>



abundante y accesible para el desarrollo de productos reciclados (Gatani *et al.*, 2013).

En América Latina, la fabricación y el empleo de madera reconstituida en forma de tableros es la tendencia contemporánea en ingeniería de la madera. Las formas más comunes en el mercado son los tableros aglomerados, los contrachapados y los enlistonados. La madera reconstituida y su combinación con adhesivos adecuados resuelven, por una parte, el problema de la dimensión natural de los árboles de los cuales se extrae la madera. El tronco presenta una geometría asimilable a un cilindro o cono irregular, cuyos diámetros cada vez son y serán menores. Esta limitación geométrica se soluciona con la recomposición a partir de fibras, partículas, astillas, tabletas y chapas de madera, en tableros con superficies y espesores acordes a usos específicos en ingeniería de la madera (Sotomayor Castellano, 2011; Chan Martín, 2004).

También es importante tener en cuenta el concepto de sustentabilidad, que es uno de los ejes fundamentales en la producción, y de la mano de este concepto, una de las líneas de desarrollo generadas en este programa es la de recuperación y aprovechamiento de desechos provenientes de diferentes sectores productivos para insertarlos o reinsertarlos en nuevas cadenas de valor.

La incorporación de partículas y fibras naturales en compuestos poliméricos para la fabricación de paneles tiene merecida atención en el medio científico y tecnológico, principalmente a causa de su bajo costo y su disponibilidad, entre otras ventajas orientadas a la preservación del ambiente.

Por lo antes expuesto, ambos proyectos se interrelacionan fundamentalmente en la utilidad de materia prima que no está valorizada (residuos, fibras y madera sólida de bajo valor), con lo que se contribuye a la elaboración de nuevos compuestos con estos materiales, además de favorecer el desarrollo sustentable.

## **Materiales**

Los materiales utilizados en esta investigación corresponden a maderas de algarrobo y de *Eucaliptus tereticornis*, corteza de quebracho blanco y cáscara de maní.

### *Caracterización tecnológica de las maderas*

#### Algarrobo

La madera de algarrobo es una madera pesada, con densidad aparente de 0,76 g/cm<sup>3</sup> al 12% de contenido de humedad (Tabla 1). Es una madera muy estable, con bajas contracciones (Tabla 2), resistente al ataque de hongos e insectos, por lo que constituye una madera durable. Presenta buen comportamiento durante el secado, tanto en el proceso natural como artificial. Se trabaja sin dificultad, aunque resulta abrasiva para los elementos de corte cuando se encuentra seca; en verde no ofrece dificultades para el aserrado y permite superficies lisas y pulidas. Debido a su dureza, presenta dificultades para el clavado, por lo que requiere pretaladrado. Toma bien tintes, colas, pinturas, lustres y barnices. Con respecto a sus propiedades mecánicas, presenta a la flexión estática un módulo de rotura de 63,70 N/mm<sup>2</sup> y un módulo de elasticidad de 7130 N/mm<sup>2</sup> (Tabla 3), y se considera que por su densidad es una madera poco resistente a los esfuerzos de flexión (Tinto, 1978; Di Marco, 2013).

Especie	Peso específico aparente al 0 % $r_0$ (g/cm <sup>3</sup> )			Peso específico aparente al 12% $r_{12}$ (g/cm <sup>3</sup> )			Porosidad (%)
	$\dot{x}$ g/cm <sup>3</sup>	s g/cm <sup>3</sup>	C.V. %	$\dot{x}$ g/cm <sup>3</sup>	s g/cm <sup>3</sup>	C.V. %	
Algarrobo blanco ( <i>Prosopis alba</i> )	0,73	0,04	6,02	0,76	0,05	6,31	51,00

Tabla 1. Peso específico aparente anhidro ( $r_0$ ) y al 12% de humedad ( $r_{12}$ ) en g/cm<sup>3</sup>, determinados por la norma IRAM 9544, como así la porosidad en %, en madera de algarrobo blanco.

Fuente: Coronel (2005)

Especie	Sentido	Hinchamiento total (%)			Contracción total (%)			Coeficiente de retractoridad - q			PSF.	
		$\dot{x}$ %	s (%)	C.V. %	$\dot{x}$ %	s (%)	C.V. %	$\dot{x}$ %	s (%)	C.V. %	$\dot{x}$ %	s %
Algarrobo blanco ( <i>Prosopis alba</i> )	Longitudinal	0,45	0,03	6,67	0,45	0,04	8,88	-	-	-	-	-
	Radial	2,76	0,20	7,25	2,55	0,12	6,27	0,09	0,01	16,67	28,33	27,72
	Tangencial	3,77	0,26	6,90	3,60	0,22	6,11	0,14	0,03	18,57	25,71	
	Volumétrico	7,18	0,47	6,92	6,70	0,63	9,40	0,23	0,04	17,39	29,13	

Tabla 2. Hinchamiento y contracción total, dimensional, volumétrica máxima en %, determinado por la norma IRAM 9543; coeficiente de retractoridad y punto de saturación de las fibras en %, en madera de algarrobo blanco

Especie	Flexión estática					
	Tensión de rotura $\sigma_r$ (N/mm <sup>2</sup> )			Módulo de elasticidad $E_f$ (N/mm <sup>2</sup> )		
	$\dot{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	s (N/mm <sup>2</sup> )	C.V. %	$\dot{x}$ (N/mm <sup>2</sup> )	s (N/mm <sup>2</sup> )	C.V. %
Algarrobo blanco ( <i>Prosopis alba</i> )	63,70	6,54	10,27	7130	967	13,56

Tabla 3. Resistencia a la flexión estática  $\sigma_f$  y módulo de elasticidad  $E_f$  en N/mm<sup>2</sup>, determinados por Norma IRAM 9542, al 12% de humedad, en madera de algarrobo blanco. Fuente. Coronel (2005)

Las características tecnológicas de su madera permiten su uso en muebles, tonelería, marcos de aberturas, parqué, carpintería rural, leña y carbón. En construcción se usa para umbrales y escalones, muros macizos exteriores e interiores, parantes o columnas, puertas y ventanas, pisos, escaleras, estantes y repisas (Tinto, 1978; Di Marco, 2013).

### Eucalyptus tereticornis Smith

La madera del *Eucalyptus tereticornis* es de coloración rojiza, con una textura uniforme y grano entrecruzado, presenta muy buenas propiedades físicas y mecánicas, y es difícil de trabajar. Por su elevada densidad y dureza, es apta para leña y carbón, para tableros de fibras de alta densidad. Debido a su resistencia y durabilidad, es muy apta para la fabricación de productos de uso exterior, principalmente, para postes y carpintería rural. En el área de la construcción sus usos principales son como soportes enterrados.

Actualmente se encuentra instalado un ensayo de mejoramiento genético de *Eucalyptus tereticornis* Smith, establecido desde 1996 en la Estación Experimental Fernández de la ciudad de Fernández, departamento Robles, Santiago del Estero, Argentina.

Pan *et al.* (2017), utilizando como material de estudio las familias de *Eucalyptus tereticornis* plantadas en Santiago del Estero, seleccionadas a partir de un ranking de productividad, con apariencia sana, de buen porte y sin defecto de forma, determinaron alguna de las características físicas y mecánicas de las familias seleccionadas. En las siguientes tablas se presentan los valores de densidad anhidra, densidad básica, contracciones lineales y volumétricas, coeficiente de retractabilidad y flexión estática de diferentes familias de *Eucalyptus tereticornis*.

Familia	Densidad anhidra (g/cm <sup>3</sup> )	Contracciones (%)				Coeficiente de retractsibilidad
		$\beta_r$	$\beta_t$	$\beta_l$	$\beta_{vol}$	
15	0,76	6,28	14,30	0,36	20,93	0,23
23	0,74	7,00	13,00	0,70	20,70	0,40
30	0,86	7,91	19,81	0,50	27,58	0,92
41	0,87	6,87	16,48	0,75	24,09	0,85
65	0,93	7,47	14,32	0,35	22,14	0,97
86	0,73	7,48	13,90	0,33	21,71	0,34

Tabla 4. Valores promedios de densidad anhidra, contracciones y coeficiente de retractsibilidad para madera de *Eucalyptus tereticornis* Smith plantados en Santiago del Estero.

Fuente: Pan et al. (2009)

Pan et al. (2017) exponen que, al comparar los valores de densidad anhidra (tabla N°4) con los reportados por Tinto (1979) y Coronel (2005) para *Eucalyptus tereticornis*, los valores de las 6 familias resultan bajos, lo cual podría indicar la presencia de madera juvenil en el leño de estos árboles jóvenes muestreados.

### *Caracterización de subproductos forestoagrícolas*

#### Corteza de quebracho blanco

La corteza forestal es un material natural que proviene de los árboles, es considerada una fuente importante de productos forestales no madereros (Giménez et al., 2008) y es también un residuo proveniente de la industria de la primera transformación de la madera que se descarta durante el aserrío y cubicación de los troncos.

La corteza de esta especie presenta una estructura extremadamente voluminosa en relación a la de otras especies. Es de color amarillento-grisáceo, muy rugosa, con hendidu-

ras longitudinales muy pronunciadas; su espesor varía según la edad del árbol entre 14 y 30 milímetros. Giménez y Moglia (1987) reportan que la corteza de esta especie es dehiscente en placas poligonales muy profundas y se encuentra dentro de la categoría n° 5 (muy gruesa) según la clasificación adoptada por Roth y citada por las autoras, que comprende espesores entre 15.1 y 20 milímetros.

Se presentan a continuación fotografías de la corteza del quebracho blanco tomadas en el Instituto de Tecnología de la Madera. Se observan las profundas hendiduras presentes en la corteza muerta y los espesores presentes en la corteza total (Figura 1).

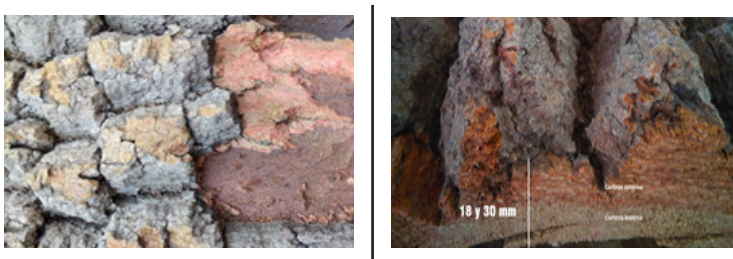


Figura 1. Corteza de quebracho blanco.

Existen estudios que demuestran que esta corteza es considerada productora de taninos, tintórea y medicinal, que se utiliza para curtir pieles, teñir hilos, telas y como abortivo, anticonceptivo, febrífugo, antiasmático, diaforético, afrodisíaco y cicatrizante (Giménez *et al.*, 2008). No obstante, después de una extensa revisión bibliográfica no se han reportado antecedentes sobre el uso de corteza de quebracho blanco en la obtención de paneles, razón por la que esta temática resulta un espacio innovador en este proyecto.

## Cáscara de maní

El maní (*Arachis hypogaea*) es una planta anual herbácea, de la familia de las Leguminosae (Lavia, 1998), originaria de América del Sur, específicamente del sudeste de Bolivia y noroeste de Argentina (Fernández y Giayetto, 2017).

En relación a las características de este material, "la "caja" del maní tiene un tamaño aproximado de 30 a 50 mm, en función de la variedad y la cantidad de granos que aloje. La superficie externa de la cáscara natural de maní es rugosa con estructura de celdas. Está multifacetada como si fueran "casquetes de fútbol". La textura superficial externa se parece a una superficie vitrificada, muy delgada y frágil, que se desprende con facilidad. Por debajo de ella existe una red, a modo de armadura o malla, que constituye el soporte de la primera capa. Se trata de una red interna fibrilar o de refuerzo, conformada por una malla hiperbólica con estructura ramificada, que le aporta rigidez estructural a la caja. Esta estructura de fibras está adherida a la capa interna, sobre la que deja surcos impresos. La última capa, la interna, es de aspecto más poroso y de composición más homogénea que la capa externa. Presenta en un análisis microscópico x20 un aspecto más compacto. La cáscara de maní es muy liviana. La geometría cóncava permite el alojamiento de importante cantidad de aire en su interior, haciendo que su volumen aumente (Gatani y Argüello, 2007).

Debido a la accesibilidad y abundante disponibilidad de este material en el país, es que se llevaron adelante experimentaciones con cáscaras de maní y virutas de madera de Algarrobo para la elaboración de paneles aglomerados en el marco del proyecto de investigación "Desarrollo de procesos y productos de paneles aglomerados basados en residuos de madera y de la agricultura" y de una tesis doctoral con Beca CONICET.

## Método

### Paneles aglomerados de corteza de quebracho blanco

En el marco del proyecto de investigación “Desarrollo de procesos y productos de paneles aglomerados basados en residuos de madera y de la agricultura”, y como parte de un trabajo final de maestría, se realizó la investigación para el aprovechamiento de la corteza de quebracho blanco. El principal objetivo fue estudiar las posibilidades de utilizar la corteza como nueva alternativa de uso a un residuo proveniente del sector forestal. Se realizó un trabajo exploratorio tomándose como modelo un proceso tradicional de elaboración de paneles a base de partículas; sobre éste se introdujeron modificaciones en las variables metodológicas y en las condiciones de la materia, para favorecer la obtención de un producto nuevo, sustentable y biodegradable.

El material genético es la corteza proveniente de trozas de quebracho blanco (*Aspidosperma quebracho blanco* Slecht) de dos aserraderos de Campo Gallo, departamento Alberdi, provincia de Santiago del Estero (Benítez *et al.*, 2018).

La elección y colección del material (corteza) se realizó al azar y se trasladó al Instituto de Tecnología de la Madera (ITM) de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de Santiago del Estero sito en la localidad de el Zanjón de dicha provincia. En el Laboratorio de Paneles a base de madera se realizaron las operaciones de preparación, elaboración y evaluación del material.

Para realizar los tableros se utilizó la corteza en dos condiciones: corteza molinada (partículas) y sin molinar (chips). Su forma de obtención fue mediante técnicas industriales y manuales. Para la obtención del agregado fino (partículas) la corteza de quebracho blanco fue introducida en un molino marca CONDUX de golpe cruz, modelo CSK 350/N1; el resultado fue



un triturado sin discriminación de granulometrías (Figura 2). En relación a los chips, se procedió al desprendimiento de la corteza utilizando cincel y maza; de este proceso resultaron partículas de gran tamaño y formas heterogéneas (Figura 2). En ambos casos se realizó la determinación de contenido de humedad de acuerdo con la norma IRAM 9532 (1963) y tamaño de partícula mediante el uso de papel milimetrado. En la Tabla 5 se muestra el diseño experimental utilizado en el ensayo.



Figura 2. Partículas y chips de corteza de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht.

Tratamientos	Corteza molida (%)	Chips de corteza (%)
T1	100	0
T2	75	25
T3	50	50
T4	25	75
T5	0	100

Tabla 5. Diseño experimental empleado en el estudio

Seguidamente, se procedió a la formación del colchón, que fue preensado en frío durante 60 segundos, en promedio, y luego en prensa hidráulica de platos a temperatura de 200 °C y presión de 36 kg/cm<sup>2</sup> en un tiempo total de 7.30 minutos.

Dado que no se incorporaron adhesivos en las mezclas, el método se basó en la aplicación de presión y temperatura sobre las mismas, con la consecuente producción y liberación de compuestos químicos que actuaron como material cementante.

### Paneles aglomerados de algarrobo y cáscara de maní

Para la elaboración de los tableros fueron utilizadas cáscaras de maní procedentes de la empresa manisera Maglione Hnos & Cía S.A. de la localidad de Las Junturas, Córdoba, Argentina (Figura 3), y virutas de algarrobo (resultantes de la operación del cepillado de la madera), que fueron obtenidas en la carpintería del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM) (FCF - UNSE) (Figura 4).



Figura 3. Empresa Manicera Maglione Hnos & Cía. S.A. Imágenes: Cátedra de Paneles a Base de Madera (FCF - UNSE).



Figura 4. Trozas, tablas y virutas de algarrobo. Imágenes: Cátedra de Paneles a Base de Madera (FCF - UNSE).

### *Primera experiencia*

En principio se realizó una primera experimentación, en la cual se fabricaron dos tipos de paneles, 100% cáscaras de maní y 100% virutas de algarrobo, con dos repeticiones cada uno, elaborándose en total cuatro tableros. Se utilizó como adhesivo resina de urea formaldehído y cloruro de amonio (1%) como endurecedor, para un panel con una densidad teórica de  $0,70 \text{ g/cm}^3$ . Las virutas de algarrobo se secaron a una humedad final del 10 %, mientras que el secado de las cáscaras no fue necesario debido a que su contenido de humedad se encontraba dentro de los parámetros exigidos. Posteriormente, se realizó la separación de las partículas por tamaño mediante zaranda oscilatoria. De las partículas aceptadas se separaron muestras al azar para medir sus dimensiones y determinar el coeficiente de esbeltez, éste es la relación entre el largo y el espesor de la partícula.

El encolado de las partículas se realizó empleando una encoladora de tambor rotativo. La formación de la manta se realizó manualmente en un molde acorde a las dimensiones de la platina de la prensa. El pre-prensado fue conducido a temperatura ambiente, a una presión específica de  $6,1 \text{ kg/cm}^2$  y por un tiempo de aproximadamente 30 segundos. El prensado del colchón de partículas se realizó en prensa hidráulica a una temperatura de  $100 \text{ }^\circ\text{C}$ , a una presión específica de  $36,8 \text{ kg/cm}^2$  y por un tiempo de 16 minutos.

### *Segunda experiencia*

Posteriormente a estas experiencias, se realizaron nuevas experimentaciones. En la Tabla N°14 se muestra el diseño experimental utilizado. La reducción de las partículas de los tratamientos T3 y T4 (Tabla N°6), se realizó mediante molino. El secado de las partículas fue conducido en estufa hasta una

humedad final por debajo del 10%. Luego, todas las partículas fueron clasificadas en zaranda oscilatoria. El encolado se realizó empleando una encoladora de tambor rotativo, se utilizó como adhesivo resina de urea formaldehído en una proporción del 10 % en relación del peso seco de las partículas y cloruro de amonio (1%) como endurecedor, para un panel con una densidad teórica de 0,75 g/cm<sup>3</sup>. El pre-prensado se realizó en frío, a una presión específica de 6,1 kg/cm<sup>2</sup>. El prensado se efectuó en prensa hidráulica a 120 °C, a una presión específica de 30,7 kg/cm<sup>2</sup> y por un total de 16 minutos. En la Figura N°5 se muestra el diagrama de producción de los tableros.

Tratamientos	Proporción de partículas (%)			
	Enteras		Molidas	
	A	CM	A	CM
T1	75	25	-	-
T2	50	50	-	-
T3	-	-	75	25
T4			50	50

Tabla 6. Diseño experimental empleado en el estudio

Nota. A: Algarrobo; CM: cáscara de maní. Por cada tratamiento se realizaron cuatro repeticiones.



Figura 5. Diagrama de producción de los tableros. Imágenes: Cátedra de Paneles a Base de Madera (FCF - UNSE).

### Paneles aglomerados de *Eucalyptus tereticornis*

Para la elaboración de los tableros se utilizó partículas de madera de *Eucalyptus tereticornis* proveniente de 4 familias de polinización abierta (15, 30, 41 y 65). Los individuos fueron seleccionados por sus características de crecimiento y rectitud de fuste en base a su mérito genético, dentro de un ensayo de progenies, instalado en la Estación Experimental Fernández, ciudad de Fernández, Departamento Robles, Santiago del Estero, Argentina. Estos materiales provienen de un área productora de semilla en Anhembi, Sao Paulo, adquirido en el Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais (IPEF), Brasil.

El adhesivo empleado fue resina de urea-formaldehído diluida en agua, aplicada en una relación del 10% respecto al peso seco de la madera.

De acuerdo a la metodología recomendada por Maloney

(1977) y Moslemi (1974), se fabricaron un total 16 tableros, 4 tableros por cada una de las familias que fueron consideradas como tratamientos (15, 30, 41 y 65). Los tableros se realizaron con un espesor de 16 mm, con aristas de 54 cm y 55,5 cm, y se elaboraron con una densidad teórica de 700 kg/m<sup>3</sup>.

Para la obtención de las partículas se llevó a cabo la selección de 4 individuos a apaar de *Eucalyptus tereticornis*, cuyas trozas obtenidas fueron transportadas al aserradero del Instituto de Tecnología de la Madera (ITM). Estas trozas provienen de la parte del fuste comprendida entre 1,30 m y 2,30 m de altura, de acuerdo a la metodología reportada por Pan *et al.* (2009). Los rollos fueron aserrados para obtener tacos de madera de dimensiones adecuadas (12 cm de ancho, 10 cm de alto y 18 cm de largo), para realizar posteriormente las operaciones de chipeado, molinado, secado, encolado y formación del tablero, conforme se muestra en la figura 6.

OPERACIÓN		Astillado	Molinado	Separación	Secado	Encolado	Prepresado y Presado
EQUIPO							
		Astilladora BENZER.	Molino CONDUX	Zaranda oscilatoria Allgaier.	Estufa Hereaus.	Encolador de tambor rotativo.	Prensa hidráulica de platos calientes, BÜRKLE.
MATERIAL	Familias de <i>Eucalyptus tereticornis</i> : 15, 30, 41 y 65	Reducción primaria. Obtención de espesor de partículas de 0,5 mm.	Reducción secundaria. Obtención de longitud de partículas en 20 mm.	Separación por medio de 2 tamices: 8 x 24 mm y 2 mm	Secado con circulación de aire forzado a una temperatura de 60°C.	Concentración de cola: 10 %. Composición: 320 g de adhesivo, 16 g de endurecedor (NH <sub>4</sub> Cl) y 160 cm <sup>3</sup> de agua	Prepresado: 15 kg/cm <sup>2</sup> durante 15 segundos. Presado: 46 kg/cm <sup>2</sup> , durante 12 min. Proceso a 100 °C

Figura 6. Operaciones, equipos y materiales utilizados para la elaboración de los paneles aglomerados.

Fuente: Medina (2012). Elaboración: Ing. Maximiliano Umlandt.

## Resultados y discusión

### Paneles aglomerados de corteza de quebracho blanco

Sobre los tableros obtenidos se determinaron propiedades físicas, peso específico de acuerdo a norma DIN 52361 (1965a), hinchamiento a 2 y 24 horas de acuerdo a norma DIN 52364 (1965c) y propiedades mecánicas (flexión estática) de acuerdo a lo prescrito por la norma DIN 52362 (1965b).

Los tableros elaborados mostraron diferencias en las características y propiedades medidas.

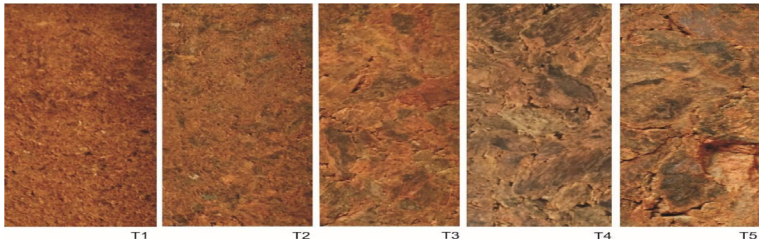


Figura 7. Vista de las caras de los tableros obtenidos.

En cuanto a los resultados obtenidos, se reporta que el T1 fue el de mayor densidad y el T5 el de menor densidad. Existe una disminución progresiva en la densidad de los tableros a medida que se incorporan partículas de mayor tamaño (chips) en la mezcla. De acuerdo con la clasificación dada por Coronel (2006), los tableros T1, T2, T3 y T4 son de alta densidad, mientras que el T5 es de densidad media (Tabla 7).

Tratamientos	Pe (g/cm <sup>3</sup> )	Hinchamiento a 2 horas (%)	Hinchamiento a 24 horas (%)
T1	1,22	27,10	39,60
T2	1,01	41,20	56,90
T3	0,87	37,90	-
T4	0,83	17,30	-
T5	0,78	5,60	-
Norma DIN 52364	-	8	16

Tabla 7. Valores medios de los ensayos de peso específico (Pe), hinchamiento a 2 y 24 horas

Los resultados arrojados por el ensayo de hinchamiento a 2 horas muestran que, a pesar de que los tratamientos se mantuvieron sin desarmarse, la mayoría no alcanzó los valores mínimos recomendados por la norma, mientras que los que estuvieron sumergidos en agua durante 24 horas resultaron con menor resistencia al hinchamiento. Es importante destacar que, si bien la norma no contempla este tipo de paneles sin adhesivo y uniformidad de partículas, la mayoría de los mismos respondieron al ensayo sin alcanzar los valores exigidos por ella.

Tratamientos	MOR (N/mm <sup>2</sup> )	MOE (N/mm <sup>2</sup> )
T1	1,57	81704,5
T2	1,39	76165,9
T3	1,37	73122,2
T4	1,33	72971,7
T5	1,33	71034,7
Norma DIN 52364	18	3400

Tabla 8. Valores medios de los ensayos de flexión estática, módulo de resistencia a la rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE)

Los resultados de los ensayos de resistencia a la flexión estática muestran que los valores de MOR para los tratamientos



realizados en este trabajo son muy bajos con respecto a los valores mínimos exigidos por la norma DIN 52362 (18 N/mm<sup>2</sup>). Se observa que, a medida que aumenta la proporción de partículas grandes (chips) en la conformación de los tableros realizados, estos se vuelven menos resistentes y su MOR es bajo, de los que resulta el T1 como el más resistente, con un MOR de 1,57 N/mm<sup>2</sup>. Con respecto a los datos obtenidos para módulo de elasticidad, el ensayo indica que los tableros realizados resultaron con muy altos valores para MOE, partiendo en el T1 con un valor de 81704,5 N/mm<sup>2</sup> y finalizando en el T5 con 71034,7 N/mm<sup>2</sup>; esto indica que los productos obtenidos son extremadamente rígidos ya que se encuentran elaborados con materia prima cuya estructura es diferente a la madera sólida y sin la incorporación de adhesivos para su conformación, por eso, sus valores están muy por encima del valor recomendado por la norma utilizada como control (3400 N/mm<sup>2</sup>). Además, se observó que, a medida que aumenta la proporción de partículas grandes, el panel se vuelve más liviano y elástico; de acuerdo con esto, se puede inferir que estos tableros son para uso en revestimientos decorativos.

## Paneles aglomerados de algarrobo y cáscara de maní

### *Primera experiencia*

Las propiedades medidas fueron las siguientes: humedad, peso específico, hinchamiento en agua a 2 y 24 horas y flexión estática. Los datos se analizaron estadísticamente mediante el análisis de variancia (ANOVA) y comparación de medias a través del test de Tukey.

En cuanto a las dimensiones y formas de las partículas de ambas materias primas, éstas presentaron formas inadecuadas que se alejan de las típicas que se emplean comercialmente en la fabricación de paneles aglomerados de partículas de ma-

dera. En ambos tipos se observan concavidades que normalmente dificultan el acceso del adhesivo durante el encolado. En la Tabla 9 se muestran los valores medios de largo y espesor de las virutas de algarrobo y su correspondiente coeficiente de esbeltez.

Largo medio (mm)	Espesor medio (mm)	C.E.
21,58	0,36	60

Tabla 9. Coeficiente de esbeltez (C.E.) de las partículas de algarrobo

Se observa que el espesor de las partículas se aparta del ideal que está en torno a 0,5 mm y el largo es superior al máximo recomendado de 0,20 mm (Medina, 2012). Esta situación era de esperar con el uso de residuos, ya que las dimensiones de éstos dependen de qué proceso productivo se originaron. El coeficiente de esbeltez calculado fue de 60, valor mínimo recomendado para que las propiedades físicas y mecánicas de los tableros sean aceptables (Ginzler y Peraza, 1966; Paredo López, 1988). El coeficiente de esbeltez de las cáscaras de maní no se midió debido a su forma irregular.

Los valores de humedad, peso específico e hinchamiento en agua a 2 y 24 horas se presentan en Tabla N°10.

Tratamiento	Peso específico		Humedad 2 horas		Hinchamiento 24 horas			
	Media (g/cm <sup>3</sup> )	A.V.	Media (%)	A.V.	Media (%)	A.V.	Media (%)	A.V.
Algarrobo	0,71A	*	9,35A	*	5,83A	*	12,52A	*
Cáscaras de maní	0,67B		10,58B		4,29B		10,08B	
Norma DIN	-		-		8		12	

Nota. \*: significativo con 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Tukey: letras comunes no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 10. Valores medios, análisis de la varianza (A.V.) y test de Tukey para los ensayos de peso específico, humedad e hinchamiento en agua a 2 y 24 horas

Se puede observar que los aglomerados poseen un peso específico cercano al programado ( $0,7 \text{ g/cm}^3$ ) y bajo porcentaje de humedad (9-11%). Se puede destacar, además, que los tableros tienen valores de hinchamiento a 2 y 24 horas por debajo del máximo recomendado por la norma DIN 52364 (1965c), a excepción del tablero al 100% de algarrobo que supera las exigencias en un 0,52% en el ensayo de hinchamiento a 24 horas.

Los valores de MOR se presentan en Tabla 11; allí se puede observar que ninguno de los aglomerados alcanzó el mínimo exigido por la norma DIN 52362 (1965b). También se puede apreciar que los aglomerados de cáscaras de maní presentan valores de MOR significativamente superiores a los de algarrobo. Los bajos valores de MOR obtenidos eran de esperarse por las características de las partículas utilizadas en este estudio. Particularmente, en el caso de los aglomerados de algarrobo, los valores bajos del coeficiente de esbeltez de sus partículas pudo ser una de las causas. Para los paneles de cáscaras de maní, la forma irregular de sus partículas pudo contribuir negativamente sobre el MOR.

Tratamiento	Media (N/mm <sup>2</sup> )	MOR	
		D.E.	A.V.
Algarrobo	1,26 <sup>A</sup>	0,50	*
Cáscaras de maní	3,48 <sup>B</sup>	0,50	
Norma DIN	18		

Nota. \*: significativo con 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Tukey: letras comunes no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 11. Valores medios, desvío estándar (D.E.), análisis de la varianza (A.V.) y test de Tukey para el ensayo a la flexión, módulo de resistencia a la rotura (MOR)

### *Segunda experiencia*

Sobre los paneles producidos se determinaron propiedades físicas (peso específico e hinchamiento en agua fría a 2 y 24 horas) y mecánicas (flexión estática), según lo prescripto por las normas IRAM 9705 (2001), 9720 (1999) y 9706 (2001), respectivamente. Se ajustó un modelo lineal mixto para comparar los valores medios de las propiedades físicas y mecánicas como variables respuestas. Se utilizó el test de Fisher para determinar las diferencias significativas entre las comparaciones.

En la Tabla 12 se presentan los valores obtenidos para peso específico e hinchamiento a 2 y 24 horas. Los resultados obtenidos indicaron que los tableros poseen un peso específico superior al programado ( $0,75 \text{ g/cm}^3$ ), por eso se clasifican como tableros de alta densidad de acuerdo con Ginzel y Peraza (1966). La diferencia en el peso específico podría, en parte, ser justificada por la variedad y formas de las partículas y a las condiciones experimentales del proceso de producción de los tableros (efecto aditivo de restos de materia prima en encoladora en cada ciclo de preparación de tablero).

Con respecto al ensayo de hinchamiento en agua a 2 y 24 horas, los resultados obtenidos muestran que los tableros del tratamiento T3 (elaborados con un 75% de virutas de algarrobo molidas y 25% de cáscaras de maní molidas), cumplen con los valores de hinchamiento a 2 y 24 horas recomendados por las normas IRAM 9723-3 (2001) y 9723-2 (2001), respectivamente. En cambio, los tableros restantes no cumplen con dicho requisito (a excepción del tratamiento T1 que cumple únicamente el de 24 horas). Además, en general, cabe destacar que no se agregó al adhesivo ningún tipo de agente hidrófugo que mejorara esta propiedad, por lo cual es previsible que la misma se pueda optimizar con el agregado de parafina.

Tratamientos	Peso específico		Hinchamiento			
	Media (kg/cm <sup>3</sup> )	A.V.	2 horas		24 horas	
			Media (%)	A.V.	Media (%)	A.V.
T1	910 <sup>AC</sup>		8,94 <sup>A</sup>		11,12 <sup>A</sup>	
T2	860 <sup>BD</sup>	*	16,94 <sup>B</sup>	*	20,68 <sup>B</sup>	*
T3	890 <sup>CA</sup>		5,90 <sup>C</sup>		8,35 <sup>C</sup>	
T4	880 <sup>DC</sup>		13,98 <sup>D</sup>		18,62 <sup>D</sup>	
IRAM 9723-2	-	-	-	-	15	-
IRAM 9723-3	-	-	8	-	-	-

Nota. \*: significativo con un 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Fisher: medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 12. Valores medios, análisis de la varianza (A.V.) y test de Fisher para los ensayos de peso específico e hinchamiento en agua a 2 y 24 horas

En cuanto al ensayo de flexión estática, los resultados obtenidos para el módulo de resistencia a la rotura (MOR), muestran que ningún tablero alcanzó el mínimo valor recomendado por la norma IRAM 9723-3 (2001) usada como control, mientras que todos superan ampliamente el valor del módulo de elasticidad (MOE) exigido por la misma norma (Tabla N°13). Los valores bajos de MOR obtenidos eran de esperarse por las características de las partículas utilizadas en este estudio. Se puede entonces inferir que los tableros resultaron muy rígidos y poco resistentes, pudiendo ser aplicados como revestimientos, cielorrasos, paneles aislantes, donde las exigencias mecánicas son inferiores.

Tratamientos	MOR		MOE	
	Media (N/mm <sup>2</sup> )	A.V.	Media (N/mm <sup>2</sup> )	A.V.
T1	4,47 <sup>a</sup>		17846,75 <sup>a</sup>	
T2	3,43 <sup>b</sup>	*	22795,60 <sup>b</sup>	*
T3	5,11 <sup>c</sup>		15715,98 <sup>c</sup>	
T4	3,66 <sup>DB</sup>		14201,60 <sup>DC</sup>	
IRAM 9723-3	13	-	1600	-

Nota. \*: significativo con un 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Fisher: medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 13. Valores medios, análisis de la varianza (A.V.) y Test de Fisher para ensayo de flexión estática, módulo de resistencia a la rotura (MOR) y módulo de elasticidad (MOE)

### Paneles aglomerados de *Eucalytus tereticornis*

La obtención de probetas se realizó tal como lo muestra el esquema en la Figura 8.

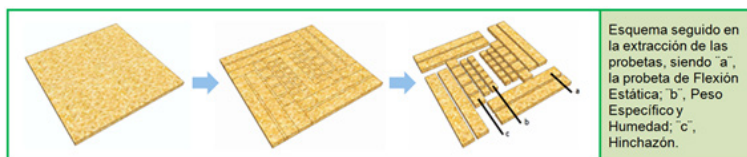


Figura 8. Esquema seguido en la extracción de las probetas.

Fuente: Normas DIN (1982). Elaboración: Ing. Maximiliano Umlandt.

La caracterización física y mecánica de los diferentes table-ros se llevó a cabo de acuerdo con las normas DIN (1982). Las probetas obtenidas fueron estabilizadas higrométricamente en cámara climatizadora, a temperatura de 20 °C y humedad relativa del 65%. Los ensayos físicos y mecánicos se llevaron a

cabo en el laboratorio de Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera del ITM.

En las Tablas 14 y 15 se presentan los parámetros estadísticos de las diferentes propiedades físicas y mecánicas determinadas en este trabajo.

Tratamientos	Humedad		Densidad real	
	Media (%)	A.V.	Media (g/cm <sup>3</sup> )	A.V.
Familia 15	9,53 <sup>A</sup>		0,749 <sup>B</sup>	
Familia 30	9,67 <sup>A</sup>	*	0,716 <sup>A</sup>	*
Familia 41	9,35 <sup>A</sup>		0,754 <sup>B</sup>	
Familia 65	10,36 <sup>B</sup>		0,745 <sup>AB</sup>	

Nota. \*: significativo con un 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Tukey: medias con letras comunes no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 14. Estadígrafos para los ensayos de humedad y densidad

Tratamientos	Flexión				Hinchamiento			
	MOR		MOE		2 horas		24 horas	
	Media (N/mm <sup>2</sup> )	A.V.	Media (N/mm <sup>2</sup> )	A.V.	Media (%)	A.V.	Media (%)	A.V.
Familia 15	4,83A		5741,46 <sup>A</sup>		12,29 <sup>A</sup>		50,87 <sup>A</sup>	
Familia 30	4,38A	*	6444,76 <sup>A</sup>		28,53 <sup>C</sup>	*	79,73 <sup>B</sup>	*
Familia 41	4,28A		6012,92 <sup>A</sup>		22,26 <sup>B</sup>		60,13 <sup>A</sup>	
Familia 65	6,23B		3512,81 <sup>B</sup>		14,30 <sup>A</sup>		52,69 <sup>A</sup>	
DIN (1982)	18	-	3400	-	8	-	16	-

Nota. \*: significativo con un 95% de certeza; ns: no significativo. Test de Tukey: medias con letras comunes no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Tabla 15. Estadígrafos para los ensayos de hinchamiento y flexión estática

## Conclusiones y recomendaciones

### Paneles aglomerados con corteza de quebracho blanco

- Es factible utilizar la corteza de quebracho blanco como residuo para la elaboración de paneles aglomerados sin incorporación de adhesivos.

- Los valores de MOR, MOE e hinchamiento obtenidos en los tableros, alejados de la norma DIN 52364, fueron los esperados debido al material utilizado para la elaboración de los mismos y a la ausencia de adhesivo.

- En relación a los valores de rigidez (MOE) obtenidos, alejados de la norma DIN 52364, queda demostrado que estos paneles no son aptos para uso estructural sino para revestimientos decorativos o aplicaciones que no requieran grandes esfuerzos o resistencias.

- Para alcanzar mayores propiedades de resistencia mecánica, se debería estudiar la posibilidad de incorporar adhesivo y realizar un mejor tratamiento y selección de partículas.

- Conocer la composición química de la corteza de quebracho blanco podría brindar datos de utilidad para el desarrollo de productos.

### Paneles aglomerados de viruta de algarrobo y cáscara de maní

- Los tableros mezclas resultaron con altos pesos específicos; esto pudo ocurrir por la variedad y formas de las partículas utilizadas y por las condiciones experimentales del proceso de producción de los tableros debido a problemas de funcionamiento presentados en el equipamiento con el que se contó.

- Con respecto al ensayo de hinchamiento en agua a 2 y 24 horas, los resultados obtenidos muestran que es posible agregar a la mezcla hasta un 25% de cáscara de maní molida sin



que esta propiedad se vea afectada. Cabe destacar, además, que esta propiedad puede ser optimizada con el agregado de parafina.

- En relación a la resistencia a la flexión, los tableros resultaron poco resistentes por las características de las partículas utilizadas en el estudio. En el caso de los tableros de algarrobo, los valores bajos del coeficiente de esbeltez de sus partículas pudieron ser una de las causas. Para los paneles de cáscaras de maní, la forma irregular de sus partículas pudo contribuir negativamente sobre el MOR.

- De acuerdo con las propiedades obtenidas, se puede inferir que los tableros resultaron muy rígidos y poco resistentes; por consiguiente, pueden ser aplicados como revestimientos, cielorrasos, paneles aislantes, donde las exigencias mecánicas son inferiores.

#### Paneles aglomerados de *Eucalyptus tereticornis* Smith

Las propiedades de hinchamiento de los tableros en 2 horas y 24 horas dieron como resultados valores mayores a los exigidos por las normas DIN, pero comparables con otros trabajos en los cuales no se utilizaron agentes hidrófobos. Los mejores (menores) valores de hinchamiento correspondieron a las familias 15 y 65.

En relación al módulo de rotura (MOR), todas las familias presentaron valores inferiores a lo estipulado por normas, mientras que el módulo de elasticidad (MOE) presentó valores superiores a lo reportado por normas y comparables con los de otros estudios. En términos de MOR, la familia 65 presentó los mejores resultados. En contraste, esta familia presentó el menor MOE.

Las cuatro familias de *Eucalyptus tereticornis* mostraron diferencias significativas en las propiedades fisicomecánicas en-

sayadas. Si bien ninguna de ellas presentó valores dentro de los rangos estipulados por normas, la familia 65 expuso los mejores valores de propiedades físicas y mecánicas respecto del resto. Se recomienda modificar las variables que correspondan en las distintas etapas de producción de los tableros de partículas, de acuerdo con las características que presenta esta madera proveniente de plantaciones en Santiago del Estero, con el propósito que pueda ser utilizada en la manufactura de tablero de partículas con fines industriales.

### Conclusiones y recomendaciones generales

- Es posible utilizar virutas de algarrobo, cáscara de maní, corteza de quebracho blanco y madera de *Eucalyptus tereticornis* en la elaboración de paneles aglomerados.

-En base a las propiedades físicas y mecánicas obtenidas en las diferentes experimentaciones, estos paneles pueden ser utilizados como revestimientos decorativos, cielorrasos y paneles aislantes. Para mejorar las propiedades finales de los tableros se recomienda agregar un agente hidrófobo como parafina y realizar ajustes en la metodología de elaboración de los paneles.

-En base a los estudios realizados, se concluye, además, que los procesos de elaboración de paneles aglomerados resultan una alternativa para el desarrollo de nuevos materiales que favorecen la incorporación de subproductos de las industrias.

## Bibliografía

- Argentina. Secretaría de Agroindustria. Ministerio de producción y Trabajo. Presidencia de la Nación (2019). "Cadena de maní – Resumen" (pp. 1-9). *Alimentos argentinos*.
- Benítez, Feliza; Jiménez, Vanesa; Ruiz, Agustín; Medina, Juan Carlos; Umlandt, Maximiliano; Gatani, Mariana; Palavecino, Adriana y Pan, Estela (2018). «Uso de la corteza del quebracho blanco para la elaboración de productos sustentables». *Revista Forestal Yvyrareta*. (26), pp. 60-65.
- Chan Martín, Mario Humberto; Araujo Molina, Omar; Azueta García, Manuel; Solís Rodríguez, Luis E. (2004). Tableros de madera de partículas. Artículo de divulgación Ingeniería, volumen 8 (3). Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 39-46.
- Coronel de Renolfi, Marta; Cardona, Gabriela; Ewens, Mauricio e Ibarra de Gómez, Elsa (2013). "Productividad y requerimientos de mano de obra en la producción comercial de plantines de algarrobo blanco (*Prosopis alba*). El caso del vivero forestal de la Estación Experimental Fernández, Santiago del Estero". *Revista Quebracho*. 21(1,2), pp. 26-38.
- Coronel, Eduardo O. (2005). "Propiedades físico – mecánicas de algunas maderas de la Región Chaqueña, y su empleo en la construcción". Serie de publicaciones Instituto de Tecnología de la Madera – División Física y Mecánica de la Madera. Cartilla técnica 1. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Coronel, Eduardo O. (2006). "Productos forestales argentinos". Serie de publicaciones 2006, Instituto de Tecnología de la Madera, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina. 83-92.
- Di Marco, Ezequiel (2013). "*Prosopis alba* Griseb. (Algarrobo blanco) (Familia Fabaceae, Mimosoideas). Ficha Técnica". Área Técnica Promoción Dirección de Producción Forestal (pp. 45-46). Ministerio de Agricultura,

- Ganadería y Pesca, Argentina.
- DIN (1965a). "DIN 52361 Testing of wood chipboards; determination of dimensions, raw density and moisture content". German National Standard. *Deutsches Institut für Normung*. Berlín.
- DIN (1965b). "DIN 52362 Testing of wood chipboards; bending test, determination of bending strength". German National Standard. *Deutsches Institut für Normung*. Berlín.
- DIN (1965c). "DIN 52364 Testing of wood chipboards; determination of variation in thickness due to moisture. German National Standard. *Deutsches Institut für Normung*. Berlín.
- DIN (1982). Normen über Holz. *Deutsches Institut für Normung* ev. Beuth – Vertrieb GMBH. Berlin, Köln, Frankfurt, Alemania.
- Fernández, Elena M. y Giayetto, Oscar (2017). *El cultivo de maní en Córdoba*. (2da edición). Río Cuarto, Córdoba: Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Gatani, Mariana y Argüello, Ricardo (2007). "Nuevos materiales de construcción sustentable con cascara de maní. Ensayos de comportamiento mecánico con variación de la granulometría del agregado". En: IV Encuentro Nacional e II Encuentro Latino-americano sobre edificações y comunidades sustentáveis (pp. 926-935).
- Gatani, Mariana P., Fiorelli, Juliano, Medina, Juan C., Arguello, Ricardo; Ruiz, Agustín, Nascimento, María F. y Savastano Jr., Holmer (2013). "Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim". *Revista Materia*. 18(2), pp. 1286-1293.
- Giménez, Ana María y Moglia, Juana Graciela (1987). "Rasgos estructurales característicos de cortezas de especies leñosas nativas del distrito chaqueño occidental". En Primeras Jornadas Nacionales de Zonas Áridas y Semiáridas.
- Giménez, Ana María, Moglia, Juana Graciela, Hernández, Patricia y Geréz, R. (2008). "La factibilidad de incrementar el valor de los bosques del Chaco mediante el aprovechamiento de la corteza forestal". *Revista Quebracho*. (15), pp. 9-14.
- Ginzel, Walter y Peraza, César (1966). *Tecnología de tableros*

- de partículas*. Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias.
- Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria y Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (1995). Manual para productores de eucaliptos de la Mesopotamia Argentina (pp.124 – 128). INTA-SAGyP. Buenos Aires, Argentina.
- IRAM 9532 (1963). "Método de determinación de humedad". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9720 (1999). "Tableros de partículas y tableros de fibras. Determinación del hinchamiento del espesor después de inmersión en agua". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9705 (2001). "Tableros derivados de la madera. Determinación de la densidad". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9706 (2001). "Tableros derivados de la madera. Determinación del módulo de elasticidad en flexión y de resistencia a la flexión". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9723-2 (2001). "Tableros de partículas. Parte 2: Requisitos de los tableros de tipo 1 para uso en ambiente seco". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- IRAM 9723-3 (2001). "Tableros de partículas. Parte 3: Requisitos de los tableros de tipo 2 para uso en ambiente seco". Instituto de Racionalización de Materiales, Buenos Aires.
- Juárez de Galindez, Margarita; Giménez, Ana María; Ríos, Norfol y Balsarini, Mónica (2005). "Modelación de crecimiento en *Prosopis alba* Griseb. empleando dos modelos biológicos". *Revista Quebracho*. (12), pp. 34-42.
- Lavia, Graciela Inés (1998). "Kryotypes of *Arachis palustris* and *A. praecox* (section *Arachis*), two species with basic chromosomes number  $X=9$ ". *Journal Cytologia*. (63), pp. 177-181.
- Maloney, Thomas (1977). *Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing*. San Francisco (EEUU): Miller Freeman Publications.
- Martínez, Rolando; Moreno, Graciela; Taboada, Víctor; Ledes-

- ma, Ramón; Carranza, María Elena y Segienowicz, Rodolfo (2008). "Madera aserrada y estabilizada de Quebracho Blanco: Nueva materia prima para la Industria Forestal". *Revista Quebracho*. (15), pp. 77-79.
- Medina, Juan Carlos (2012). "Guía de estudio cátedra Industrias Mecánicas de la Madera II". Carrera de Ingeniería en Industrias Forestales, Facultad de Ciencias Forestales Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Ministerio de Agroindustria. Presidencia de la Nación (2017). "Censo nacional de aserraderos. Informe del relevamiento censal en la provincia de Santiago del Estero Región Chaqueña" (p. 27).
- Moslemi, A. A. (1974). *Particleboard: materials*. Volume 1. Illinois (EEUU): Southern Illinois University Press. Carbondale.
- Pan, Estela Margarita; Ruiz, Agustín Pascual y Ruiz Ernesto (2009). *Propiedades tecnológicas de la madera 1ª parte*. Santiago del Estero (Argentina): Editorial Lucrecia.
- Pan, Estela Margarita; Salto Carla; Juárez de Galindez, Margarita y Umlandt, Maximiliano. (2017). "Tensiones de crecimiento en madera de familias y progenies de *Eucalyptus tereticornis* plantados en Santiago del Estero (inédito)". *Revista Foresta Veracruzana*. 19(1), pp. 9-16.
- Peredo López, Miguel. (1988). "Fabricación de tableros de partículas para uso en exteriores". *Revista Bosque*. 9(1), 35-42.
- Salto, C. S. (2008). *Variación genética en progenies de polinización abierta de Eucalyptus tereticornis Smith*. Trabajo Final. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Santiago del Estero, Argentina.
- Sotomayor Castellanos, J.R.; Correa Olivares, V.E.; García Mariscal, L.J.; Hernández Maldonado, S.A.; Moya Lara, C.E.; Olguín Cerón, J.B.; Zurita Valencia, W. (2011). "Caracterización mecánica de madera reconstituida: tableros aglomerados, contrachapados y enlistonados de madera evaluados con métodos no destructivos". *Publicación Investigación e Ingeniería de la Madera*. 7(1), pp. 16-35.

Tinto, José Claudio. (1978). "Aporte del Sector Forestal a la Construcción de Viviendas". Instituto Forestal Nacional. Folleto Técnico Forestal N° 44, Buenos Aires.

Tinto, José Claudio. (1979). "Utilización de los Recursos Forestales Argentinos". Instituto Forestal Nacional (IFONA). Folleto técnico N° 41. Buenos Aires. Argentina: Subsecretaría de Recursos Naturales Renovables y Ecología, Secretaría de Estado de Agricultura y Ganadería, Ministerio de Economía.

# APLICACIONES GEOMÁTICAS DE LOS MODELOS GRAVITACIONALES TERRESTRES (EGM) Y LOS MODELOS DIGITALES DE ELEVACIÓN (DEM) GLOBALES.

Análisis y aplicación de EGM y DEM globales para la provincia de Santiago de Estero

LUCRECIA GALVÁN<sup>1</sup>; CLAUDIA INFANTE<sup>2</sup>; JAVIER DURO<sup>3</sup>;  
SANTIAGO AMALFI<sup>4</sup>; JORGE ORIETA<sup>5</sup>; MELINA LLANOS<sup>6</sup>

## Resumen

Los avances científicos y tecnológicos logrados en geomática

- 1 Directora del Proyecto. Magíster en Geomática. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica (UNLP). Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).
- 2 Codirectora del Proyecto. Magíster en Geomática. Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísica (UNLP). Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).
- 3 Integrante del Proyecto. Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).
- 4 Integrante del Proyecto. Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).
- 5 Integrante del Proyecto. Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).
- 6 Integrante del Proyecto. Ingeniero Agrimensor. Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (UNSE).



en las últimas décadas permiten determinar diversos efectos de los cambios geodinámicos globales de la Tierra a partir del procesamiento de series de datos georreferenciados, muy precisos, estables y continuos.

Las misiones de satélites tales como CHAMP, GRACE y GOCE proporcionan cobertura homogénea, global y continua de datos de gravedad. Asimismo, el conocimiento de la topografía global proporcionado por las misiones satelitales tales como SRTM, ALOS World 3D, TanDEM-X etc. contribuyen a analizar, modelar y comprender procesos de las geociencias condicionados por el relieve a nivel global.

Por lo tanto, los modelos gravitacionales terrestres globales (EGM) y los modelos digitales de elevación (DEM) constituyen una valiosa fuente de información para el monitoreo y estimación *a priori* de los cambios que acontecen en el planeta.

Las anomalías gravimétricas caracterizan las desviaciones del potencial del campo de gravedad real de la Tierra del potencial normal y están asociadas a variaciones de densidad de masa. La presencia de masas anómalas en la corteza terrestre perturba y ondula la superficie equipotencial del geoide. Las anomalías gravimétricas y ondulaciones del geoide son habitualmente usadas en las geociencias porque evidencian las variaciones de densidad en la corteza terrestre.

El objetivo general que se propone este trabajo es presentar las metodologías desarrolladas en el marco del Proyecto de Investigación (PI) tendientes a optimizar aplicaciones de los EGM y de los DEM en las geociencias en general y en la geodesia en especial para Santiago del Estero. En particular, se utilizan las anomalías de la gravedad y las ondulaciones del geoide como una medida de la desviación de la distribución de las masas terrestres reales comparadas con un modelo de referencia de distribución de masas, utilizando datos terrestres y datos obtenidos a partir de modelos geopotenciales.

Palabras clave: Modelo Gravitacional Terrestre - Modelo Digital de Elevación – Anomalías Gravimétricas – Modelos de Corteza - Isostasia

## Abstract

Scientific and technological advances in geomatics in recent decades make it possible to determine various effects of global geodynamic changes on the Earth from the processing of highly precise, stable, and continuous georeferenced data series.

Satellite missions such as CHAMP, GRACE and GOCE provide homogeneous, global, and continuous coverage of gravity data. Also, the knowledge of the global topography provided by satellite missions such as SRTM, ALOS World 3D, TanDEM-X etc. contribute to analyze, model, and understand geosciences processes conditioned by relief at a global level.

Therefore, global gravitational terrestrial models (EGM) and digital elevation models (DEM) constitute a valuable source of information for monitoring and a priori estimation of the changes that occur on the planet.

Gravimetric anomalies characterize the deviations of the potential of the Earth's real gravity field from the normal potential and are associated with variations in mass density. The presence of anomalous masses in the earth's crust disturbs and undulates the equipotential surface of the geoid. Gravimetric anomalies and geoid undulations are commonly used in geosciences because they show variations in density in the earth's crust.

The general objective proposed with this work is to present the methodologies developed in the framework of the Research Project (RP), aimed at optimizing applications of EGM and DEM in geosciences in general and in geodesy especially for Santiago del Estero. Gravity anomalies and geoid undula-

tions are used as a measure of the deviation of the distribution of real land masses compared to a reference model of mass distribution, using land data and data obtained from geopotential models.

Keywords: Terrestrial Gravitational Model - Digital Elevation Model - Gravimetric Anomalies - Crust Models - Isostasy

## Introducción

La Tierra es dinámica, está sujeta a cambios sustanciales debido a los procesos e interacciones entre sus subsistemas geofísicos: la atmósfera, la hidrosfera, la biosfera y la geosfera. Una cantidad significativa de estos procesos está relacionada con la redistribución de masa en el sistema de la Tierra y, por lo tanto, se traduce en cambios en el campo de gravedad terrestre. El conocimiento sobre las propiedades del campo gravitatorio de la Tierra es, pues, fundamental para muchas aplicaciones de las ciencias de la Tierra.

Las observaciones espaciales proporcionan el único medio para controlar y evaluar los cambios del subsistema de la Tierra en una perspectiva global y de largo plazo. Entregan una serie larga y continua en el tiempo de importantes parámetros del subsistema de la Tierra, que contribuyen al análisis y la predicción de estos cambios.

Las observaciones espaciales gravimétricas proporcionan uno de los medios para controlar, evaluar y analizar los cambios del sistema de la Tierra. Las misiones de satélites tales como CHAMP (*CHALLENGING Mini-satellite Payload*), GRACE (*Gravity Recovery And Climate Experiment*) (Reigber, 1995), GOCE (*Gravity Field and Steady State Ocean Circulation Explorer*) (Rummel et al., 2011) y GRACE-FO (*GRACE-Follow On*)

(Flechtner *et al.*, 2014A) proporcionan cobertura homogénea, global y continua de datos de gravedad. Asimismo, el conocimiento de la topografía global proporcionado por las misiones satelitales tales como SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) de la NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) y su modelo digital de elevación SRTM 90 m; la misión de ALOS (*Advanced Land Observing Satellite*) de JAXA (*Japan Aerospace Exploration Agency*) y su modelo digital de superficie global ALOS World 3D – 30 m (AW3D30); la misión TanDEM-X (*TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement*) con su complemento TerraSAR-X del DLR (*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt*) y su modelo digital de elevación global TanDEM-X 90 m DEM contribuyen a analizar, modelar y comprender procesos de las geociencias condicionados por el relieve a nivel global.

El desarrollo y la liberación de los Modelos Gravitacionales Terrestres Globales (EGM<sup>7</sup>) acontecido en las últimas décadas han mostrado el sucesivo incremento en el grado y orden de los armónicos esféricos y, en consecuencia, las resoluciones que ellos han alcanzado. Estas mejoras han ocurrido, fundamentalmente, por la incorporación de datos de mejor calidad y de diversas fuentes para toda la Tierra.

Las últimas misiones satelitales gravimétricas, tales como CHAMP (Reigber *et al.*, 2002), GRACE (Tapley *et al.*, 2004) y GOCE (Drinkwater *et al.*, 2003), con satélites de órbita baja, diseñados principalmente para monitorear el campo gravitacional terrestre, han contribuido a su conocimiento más preciso y, en consecuencia, se han desarrollado EGM de alta resolución espacial y precisión, debido a sus menores errores de omisión y comisión (Pavlis *et al.*, 2012; Hirt *et al.*, 2011, etc). Existen di-

7 EGM, Earth Gravitational Model, Modelo gravitacional terrestre o modelo geopotencial global.

ferentes tipos de modelos gravitacionales según la naturaleza de los datos considerados en su cálculo: solo satélite o combinados (datos de satélite más terrestres). Estos últimos son los EGM que logran la mayor resolución espacial porque incorporan, además de datos satelitales, numerosas fuentes de datos de gravedad terrestre (tierra, mar y aire). La larga longitud de onda de los modelos resulta más precisa gracias al aporte de los datos satelitales, como análisis de las órbitas y sus perturbaciones provocadas por las anomalías de las masas terrestres y la altimetría satelital, que proporciona información fundamental sobre la altura de los océanos. Estas características justifican el interés en analizar su comportamiento a escalas regionales o provinciales como lo muestran numerosos trabajos científicos (Pavlis *et al.*, 2008; Hirt *et al.*, 2011; Introcaso, 2006; Del Cogliano, 2006; Infante *et al.*, 2013; Galván *et al.*, 2014).

El presente trabajo muestra el estudio, análisis, evaluación y aplicaciones del reciente EGM XGM2019e (Zingerle *et al.*, 2020) desarrollado en armónicos esféricos al grado y orden 2190 con una resolución de 5', aproximadamente 10 km en el Ecuador.

Asimismo, se estudian, evalúan y aplican los modelos de corteza GEMMA (*GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications*, Sampietro, *et al.*, 2013) y CRUST 1.0 (Laske *et al.*, 2013). Estos modelos son utilizados en estudios y aplicaciones de las Ciencias de la Tierra que necesiten parámetros de corteza para sus cálculos y reducciones.

Además, se muestran el estudio, acceso, análisis, evaluación y aplicaciones de las sucesivas versiones liberadas de los DEM<sup>8</sup> de reciente aparición. En la última década se han realizado importantes avances en la modelización de la elevación global con la liberación de datos de alturas provenientes de:

La misión SRTM de la NASA tiene un sensor de datos radar de apertura sintética interferométrico (InSAR) de la banda C y su SRTM 90 m DEM ver. 4.1 cuenta con una resolución espacial de 90 m y errores esperados en altura de 16 m, liberados en septiembre del 2004 por CGIAR (*Consultative Group for International Agricultural Research*). El SRTM DEM tiene una cobertura entre los 60° de latitud Norte y 56° de latitud Sur.

Desde 2014, la Agencia JAXA ha llevado a cabo el proyecto para desarrollar el mapa digital 3D global preciso ALOS World 3D (AW3D) que cubre las áreas terrestres globales mediante el uso de 3 millones de archivos de escenas adquiridos por PRISM (*Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping*), en el Satélite ALOS, operado desde 2006 a 2011.

El modelo TanDEM-X 90 m (2016) del DLR, disponible con cobertura completa para la Tierra, tiene una resolución espacial de 90 m y errores verticales esperados entre 2 m y 4 m, la misión espacial se denomina TerraSAR-X (TanDEM-X).

Los nuevos datos de alta resolución y mejores coberturas perfeccionan considerablemente el conocimiento de la superficie de la Tierra y, debido a las múltiples aplicaciones, es importante evaluar la calidad de estos.

Se aplican los métodos de evaluación de los EGM y de los DEM usando fuentes de datos terrestres, entre otros. Los datos terrestres comprenden las redes geodésicas nacionales disponibles, como así también las redes de nivelaciones y mediciones gravimétricas del país.

Se aborda el estudio de los modelos gravitacionales globales que estén relacionados con las superficies de referencia usadas en los respectivos DEM investigados y su aplicación a la zona de estudio.

Por lo tanto, los EGM y los DEM constituyen una valiosa fuente de información para el monitoreo y estimación *a priori* de los cambios que acontecen en el planeta, como así también las aplicaciones geomáticas en las geociencias.

## Los modelos gravitacionales terrestres globales (EGM). Evaluación y aplicación

El conocimiento preciso del campo gravitatorio de la Tierra es crucial para una gran cantidad de geociencias, por ejemplo, es útil para determinar marcos de referencia verticales o brindar información sobre la distribución de masas en el sistema Tierra, por mencionar solo algunas aplicaciones. Desde la aparición de las misiones espaciales gravimétricas, especialmente GRACE y GOCE, la calidad de los EGM ha mejorado significativamente (Zingerle *et al.*, 2020). Por ejemplo, los datos de GRACE aumentados con una compilación completa de observaciones de gravedad terrestre contribuyeron al modelo combinado del campo de gravedad global de alta resolución EGM2008, ampliamente utilizado (Pavlis *et al.*, 2012). Otros modelos posteriores de alta resolución como EIGEN6-C4 (Förste *et al.*, 2014) o GECO (Gilardoni *et al.*, 2016) ampliaron EGM2008 más adelante al incluir adicionalmente datos de GOCE, lo que resultó en una mejora adicional en las longitudes de onda más largas. El satélite GOCE equipado con un gradiómetro de 6 componentes y orbitando a baja altura (260 km aproximadamente sobre la superficie terrestre) proporcionó las más detalladas mediciones del campo de gravedad terrestre desde el espacio. Los EGM basados en GOCE, en consecuencia, muestran una mejora en el modelado del campo gravitacional en la larga longitud de onda.

Se aborda, en particular en el presente trabajo, el estudio y evaluación del EGM XGM2019e (Zingerle *et al.*, 2020) por ser el modelo más reciente disponible que incorpora datos de la misión gravimétrica completa GOCE.

Entre las magnitudes que caracterizan el campo gravitatorio, se emplean las anomalías gravimétricas y las anomalías del geoide. Se utilizó la información de las ondulaciones del geoide, representadas a partir del EGM, para analizar las caracte-

rísticas corticales de la estructura de las Sierras de Sumampa y Ambargasta, ubicadas al sur de la provincia de Santiago del Estero. Esta estructura se asume *a priori*, en equilibrio isostático. Las ondulaciones del geoide son convenientemente filtradas para poner en evidencia la estructura, a partir de la ondulación residual obtenida del EGM. En una situación de equilibrio, esta ondulación residual se asemeja al geoide isostático calculado utilizando parámetros de corteza extraídos de modelos globales como GEMMA y CRUST 1.0.

### *Potencial del campo de gravedad*

El conocimiento del campo de gravedad terrestre es fundamental para las Ciencias de la Tierra en general y para la Geodesia en particular, debido a que prácticamente todas las observaciones geodésicas están vinculadas a él. Resulta conveniente representar el campo de gravedad terrestre a través de una magnitud escalar llamada potencial  $W$ .

El potencial de la gravedad terrestre  $W$  se puede expresar en un sistema de coordenadas rectangulares (Heiskanen y Moritz, 1967; Barthelmes, 2013; Wolfgang, 1989) como:

$$W = W(x, y, z) = V(x, y, z) + \Phi(x, y, z) \quad (2.1)$$

donde  $V$  es el potencial de atracción producido por las masas y  $\Phi$  es el potencial centrífugo. Según la ley de gravitación de Newton, el potencial de atracción  $V$  de un cuerpo con densidad de masa  $\rho$  es la integral:

$$V(x, y, z) = G \int_v \frac{\rho(x', y', z')}{\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2}} dx' dy' dz', \quad (2.2)$$

sobre el volumen  $v$  del cuerpo, donde  $G$  es la constante gravitacional de Newton y  $dv = dx' dy' dz'$  es el elemento de volumen. Para  $\sqrt{(x-x')^2 + (y-y')^2 + (z-z')^2} \rightarrow \infty$  el potencial  $V$  se comporta como el



potencial de una masa puntual ubicada en el centro de masa del cuerpo con la masa total del cuerpo.

Se puede demostrar que, en el interior de la Tierra,  $V$  satisface la ecuación de Poisson  $\nabla^2 V = -4\pi G\rho$ , mientras que fuera de las masas, donde la densidad  $\rho$  es cero,  $V$  cumple la ecuación de Laplace ( $\nabla^2 V = 0$ ). Por lo tanto,  $V$  es armónica en el espacio vacío.

De la teoría de las funciones armónicas se sabe que el conocimiento de una superficie equipotencial es suficiente para definir toda la función armónica fuera de esa superficie. El geode es la superficie equipotencial particular del campo de gravedad terrestre que mejor ajusta al nivel medio del mar en reposo. El potencial de la superficie del geode será:

$$W(x,y,z) = W_0 = \text{constante} \quad (2.3)$$

El mayor inconveniente de la ecuación (2.2) es el desconocimiento de la distribución de densidad de masa  $\rho$  en el interior de la Tierra. En consecuencia, para evaluar el potencial gravitacional será necesario recurrir a mediciones vinculadas al campo exterior del planeta.

Usualmente la ecuación (2.2) se expresa en armónicos esféricos (Barthelmes, 2013):

$$V(r, \lambda, \phi) = \frac{GM}{r} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^n P_{nm}(\sin\phi)(C_{nm}\cos\lambda + S_{nm}\sin\lambda) \quad (2.4)$$

en el que  $n$ : grado y  $m$ : orden del desarrollo en serie. Se denota con:  $r$  la distancia geocéntrica,  $M$  la masa de la Tierra,  $R$  el radio de referencia,  $P_{nm}$  las funciones asociadas de Legendre normalizadas,  $C_{nm}$  y  $S_{nm}$  los coeficientes de Stokes normalizados,  $\phi$  la latitud geocéntrica y  $\lambda$  la longitud.

El desarrollo en serie del potencial  $V$ , expresado según (2.4) representa una descomposición espectral en longitudes de onda. Siendo  $\psi$  la resolución espacial del modelo que puede determinarse como (Barthelmes, 2013; Seeber, 2003):

$$\psi = \frac{\pi R}{n} \approx \frac{20.000km}{n} \tag{2.5}$$

donde R es el radio medio terrestre y n el grado del desarrollo en armónicos esféricos.

En general se expresa el potencial W en función del potencial normal U y el potencial perturbador T:

$$W(x, y, z) = U(x, y, z) + T(x, y, z), \tag{2.6}$$

donde U(x,y,z) representa el potencial normal generado por un elipsoide de revolución con masa igual a la masa terrestre y que rota a la misma velocidad de la Tierra, por lo que sobre el elipsoide de nivel  $U_0=W_0$ . En cambio, el potencial de perturbación T representa las discrepancias del potencial real W del normal U y puede expresarse en armónicos esféricos según (2.4) y (2.6) como:

$$T(r, \lambda, \phi) = \frac{GM}{r} \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^l P_{nm}(\text{sen}\phi) (\Delta C_{nm} \cos\lambda + \Delta S_{nm} \text{sen}m\lambda), \tag{2.7}$$

La ondulación del geoides N es la altura del geoides con respecto al elipsoide de referencia medida a lo largo de la normal al elipsoide (Figura 2.1). Aplicando la fórmula de Bruns (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006), que relaciona la ondulación del geoides N con el potencial perturbador T, se obtiene la expresión para la ondulación del geoides en términos del potencial:

$$N(r, \lambda, \phi) = \frac{GM}{\gamma r} \sum_{n=0}^{n_{max}} \sum_{m=0}^n \left(\frac{R}{r}\right)^l P_{nm}(\text{sen}\phi) ({}'' C_{nm} \cos\lambda + {}'' S_{nm} \text{sen}m\lambda) \tag{2.8}$$

### Anomalías gravimétricas

La anomalía gravimétrica clásica  $\Delta g$  es la diferencia entre la prolongación descendente de la magnitud de la gravedad  $|\nabla W_c|$  sobre el geoide menos la gravedad normal  $|\nabla U|$  en el elipsoide a la misma longitud  $\lambda$  y latitud  $\phi$  elipsoidal (Barthelmes, 2013; Heiskanen y Moritz, 1967; Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006):

$$\Delta g = |\nabla W_c(N, \lambda, \phi)| - |\nabla U(0, \phi)|, \quad (2.9)$$

La formulación de este problema es la integral de Stokes. Para ello, la gravedad medida sobre la superficie terrestre  $|\nabla W(h, \lambda, \phi)|$  tiene que reducirse de alguna manera hacia el geoide y la forma exacta de hacerlo es la prolongación armónica descendente del potencial de atracción  $V_c$  (Barthelmes, 2013). En la práctica, la llamada «*reducción de aire libre*» se utiliza para obtener  $|\nabla W_c(N, \lambda, \phi)|$  aproximadamente.

La anomalía gravimétrica en aproximación esférica  $\Delta g_{sa}$  determinada a partir de una expansión armónica esférica del potencial perturbador  $T$  es (Barthelmes, 2013):

$$\Delta g_{sa} = \frac{GM}{r^2} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{r}\right)^n (n-1) \sum_{m=0}^n P_{nm}(\sin\phi) (C_{nm} \cos m\lambda + S_{nm} \sin m\lambda) \quad (2.10)$$

Para los puntos terrestres donde se dispone de mediciones de gravedad, la anomalía gravimétrica clásica se estima aplicando la corrección o reducción de aire libre (Heiskanen y Moritz, 1967; Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006):

$$\Delta g = g_P - \gamma_Q \quad (2.11)$$

donde  $\Delta g$  es la anomalía gravimétrica de aire libre,  $g_P$  es la gravedad reducida al geoide y  $\gamma_Q$  es la gravedad normal sobre el elipsoide (Figura 2.1).

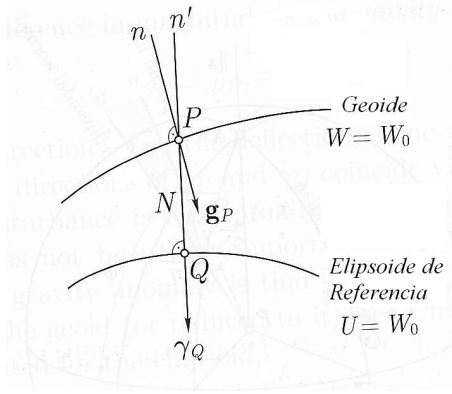


Figura 2.1. Anomalía de la gravedad [Hofmann-Wellenhof, B. y Moritz, H, 2006].

Las anomalías de aire libre solo consideran la variación de la gravedad con la altura y la variación por latitud, pero no tienen en cuenta la masa interpuesta entre la estación y la superficie de referencia.

A partir del potencial gravitacional de la topografía  $V_t$  producido por las masas topográficas que se encuentran por encima del geoide es posible determinar la anomalía de la gravedad reducida por topografía (Barthelmes, 2013):

$$\ddot{A}g_{tr}(h, \lambda, \phi) = |\nabla[W(h, \lambda, \phi) - V_t(h, \lambda, \phi)]| - |\nabla U(h - \zeta, \phi)| \quad (2.12)$$

El potencial  $V_t$  se estima utilizando un modelo digital del terreno e hipótesis sobre la distribución de densidad de masas. Una aproximación simple pero útil para determinar la anomalía de la gravedad reducida por topografía es mediante la anomalía de Bouguer:

$$\ddot{A}g_{tr}(\lambda, \phi) \approx \Delta g_B(\lambda, \phi) = \Delta g_{cl} - \delta g_B \quad (2.13)$$

donde  $\Delta g_B$  es el efecto gravimétrico de las masas topográficas y se calcula mediante un valor que se denomina corrección de Bouguer.

La corrección de Bouguer considera el efecto gravimétrico de las masas topográficas entre la estación P y el geoide  $P_0$  y se calcula tradicionalmente, suponiendo que la masa entre el *datum* vertical (geoide) y la estación puede ser representada por una lámina o placa horizontal infinita con espesor igual a la altura H de la estación (Figura 2.2).

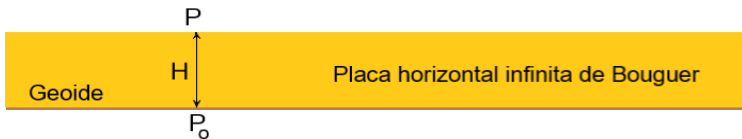


Figura 2.2. Placa horizontal infinita de Bouguer [Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006].

El efecto gravimétrico  $\delta g_B$  de la placa plana se calcula con la ecuación (2.14) (Heiskanen y Moritz, 1967; Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006):

$$\delta g_B = 2\pi G\rho H, \quad (2.14)$$

donde G es la constante gravitacional,  $\rho$  es la densidad de la placa horizontal en gramos por centímetros cúbicos y H es el espesor de la placa plana horizontal en metros. Suele considerarse una densidad estándar para la corteza  $\rho$  de 2.67 g/cm<sup>3</sup>.

En términos del potencial, no es posible estimar el efecto de las masas topográficas mediante la placa de Bouguer, sino como una capa esférica de espesor constante H o una campana gaussiana de altura H que produzca una atracción equivalente a (2.14) (Barthelmes, 2013).

### Ondulación del geode isostático

La presencia de masas anómalas en la corteza terrestre perturba y ondula la superficie equipotencial del geode. Las ondulaciones del geode generadas por una estructura teórica isostáticamente compensada pueden compararse con las ondulaciones del geode observadas sobre la estructura real, en longitudes de onda compatibles con su ancho, y de esta forma disponer de otra vía de análisis isostático (Haxby y Turcotte, 1978; Crovetto *et al.*, 2006, Del Cogliano, 2006; Infante *et al.*, 2017).

El potencial gravitatorio de la Tierra real  $V_{real}$  puede expresarse como la suma del potencial producido por la Tierra regularizada  $V_{reg}$  en el sentido isostático y un potencial perturbador isostático  $T_{isost}$  producto de la topografía y el correspondiente modelo de compensación, es posible expresar (Del Cogliano, 2006):

$$V_{real} = V_{reg} + T_{isost} + v_I \quad (2.15)$$

donde  $v_I$  representa los desvíos del modelo isostático y los errores en la evaluación del mismo.

Si consideramos en el modelo de compensación de Airy (Figura 2.3), una estructura de referencia, con una corteza normal de espesor  $t$ , densidad de la corteza  $\rho_c$ , y la densidad del manto  $\rho_m$ ; una estructura de altura  $H$  será compensada por la presencia de raíces de espesor  $r$ , tal que:

$$r = \frac{\rho_c H}{\rho_m - \rho_c} \quad (2.16)$$

Es posible determinar el potencial perturbador isostático  $T_{isost}$  producido por la masa topográfica de una estructura de altura  $H$  y raíz  $r$ , como función de la densidad de corteza  $\rho_c$ , densidad del manto  $\rho_m$ , y el espesor de la corteza de referencia  $t$  (Haxby

y Turcotte, 1978; Fowler, 2005). Aplicando la fórmula de Bruns (Heiskanen y Moritz, 1967), se obtiene:

$$N_{isost} = \frac{\pi G \rho_c H}{\gamma} \left[ 2t + \frac{\rho_c}{\rho_m - \rho_c} H \right] \quad (2.17)$$

donde G es la constante de Gravitación Universal. La ecuación (2.17) resuelve la ondulación isostática  $N_{isost}$  para una estructura compensada, en términos de una función que depende únicamente de la altura de la estructura en estudio, establecidas las densidades y espesor cortical normal que serán asumidos como valores fijos.

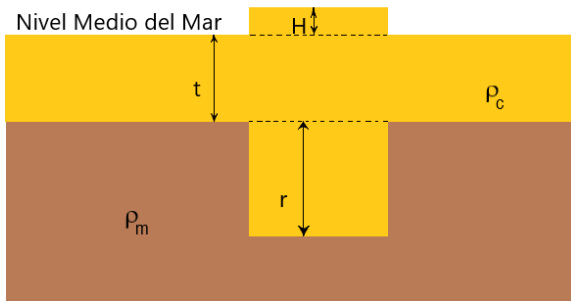


Figura 2.3. Modelo isostático de Airy.

## Datos utilizados

*El modelo geopotencial XGM2019E*

XGM2019e (Zingerle *et al.*, 2020) es un modelo combinado del campo de gravedad global representado por armónicos esféricos hasta el grado y orden (d/o) 5399, correspondiente

a una resolución espacial de 2' (aproximadamente 4 km en el Ecuador). Como fuentes de datos, incluye el modelo combinado solo satélite GOCO06s (Kvas *et al.*, 2019) más un conjunto de datos de anomalías de gravedad terrestre de 15 minutos de arco proporcionado por NGA (*National Geospatial-Intelligence Agency*) y un conjunto de datos de anomalías de gravedad derivadas de la altimetría sobre los océanos y la topografía de los continentes en grilla de un minuto de arco. La validación del modelo por contrastación con datos GNSS/nivelación indica que XGM2019e puede considerarse globalmente más coherente e independiente de los modelos globales de alta resolución existentes (Zingerle *et al.*, 2020).

### *Modelo GEMMA*

El proyecto GEMMA (GOCE Exploitation for Moho Modeling and Applications), financiado por la Agencia Espacial Europea, tiene como objetivo principal estimar el límite entre la corteza terrestre y el manto (la llamada discontinuidad de Mohorovičić o Moho) a partir de datos GOCE, proponiendo una solución basada en un modelo simple de dos capas en aproximación esférica y una resolución de  $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$  (Sampietro *et al.*, 2013).

### *Modelo CRUST 1.0*

CRUST 1.0 es una versión actualizada del modelo CRUST 2.0 (Laske *et al.*, 2013, Basin *et al.*, 2000), con la mejora en la resolución de  $2^{\circ} \times 2^{\circ}$  a  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ . Se basa en ETOPO1 (*Earth topography 1 arc minute*) para topografía y batimetría; los sedimentos se toman de un modelo de  $1^{\circ} \times 1^{\circ}$  (Laske *et al.*, 1997), mientras que el espesor de la corteza es una recopilación de experimentos con fuentes activas, funciones receptoras y mapas Moho ya publicados.



### *Red de Nivelación de Precisión del IGN*

La Red Altimétrica de I Orden Nacional está referida al nivel medio del mar (*Datum Vertical Local*). La red está desarrollada a lo largo de rutas y caminos. Para la provincia se cuenta aproximadamente con 600 puntos fijos altimétricos (PFA) distribuidos en 18 líneas de nivelación. (IGN, 1979, IGN 1983; Galván et al, 2006) (Figura 2.4). Los PFA cuentan con valores de posición referidas al Sistema WGS84 (*World Geodetic System 1984*), alturas ortométricas de Mather de acuerdo con el nuevo Sistema de Referencia Vertical Argentino (SRVN16; IGN, 2016) y valores de gravedad en el sistema IGSN71.

### **Área de trabajo**

La zona de trabajo abarca el territorio de la provincia de Santiago del Estero, comprendida entre los paralelos de  $-25^{\circ}$  y  $-30^{\circ}$  de latitud sur, y entre los meridianos de  $-61.5^{\circ}$  y  $-65^{\circ}$  de longitud oeste (Figuras 2.4 y 2.5).

Para el análisis de las características corticales en base a la ondulación del geoide isostático, se trabajó sobre un perfil que cruza la estructura de las Sierras de Sumampa y Ambargasta en una longitud de 100 km, con orientación noroeste a sureste ubicadas en la zona sur de la provincia de Santiago del Estero (Figura 2.6, izquierda).

### **Metodología**

Para la evaluación se compararon las anomalías gravimétricas de Bouguer provenientes del modelo XGM2019e con las correspondientes a los PFA mediante la ecuación (2.18):

$$\Delta g_{B-\text{Res}IGN} = \Delta g_{IGN} - \Delta g_{B-GGM} \quad (2.18)$$

donde  $\Delta g_{B-\text{Res}IGN}$  es la diferencia o residuo de la anomalía de Bouguer,  $\Delta g_{B-IGN}$  es la anomalía de Bouguer en los puntos IGN (ecuación 2.13) y  $\Delta g_{B-MGG}$  es la anomalía de Bouguer del modelo XGM2019e (ecuación 2.12).

Las anomalías de Bouguer del modelo XGM2019e se determinaron en una grilla de puntos cada 10 minutos de arco dentro de la zona de trabajo mencionada, de la que resultaron 2365 puntos ordenados en una matriz de 55 filas por 43 columnas. Estos valores fueron calculados para el g/o 2190 del calculador ICGEM (*International Center for Global Gravity Field Models*) (Ince et al., 2019).

Para inferir las características corticales de la estructura geológica que se pretende analizar, se compara el geode observado y debidamente filtrado con el correspondiente a un modelo cortical perfectamente compensado. Este geode residual se compara con el obtenido a partir de un modelo isostáticamente balanceado. Las diferencias entre ambos representarán el grado de ajuste del modelo de referencia adoptado con el real.

La ondulación del geode observada se toma de los modelos geopotenciales globales, que puede escribirse como la suma de una componente regional  $N_{reg}$  que refleja el comportamiento predominante de la zona y otra residual  $N_{res}$  ligada a las particularidades de la estructura analizada, y puede expresarse como (Del Cogliano, 2006):

$$N_{\text{mod}} = N_{\text{reg}} + N_{\text{res}} + v_n \quad (2.19)$$

En una situación de equilibrio isostático, se verifica que:

$$N_{\text{res}} + v_n \cong N_{\text{isost}} + v_I \quad (2.20)$$

donde  $v_i$  representa los desvíos del modelo isostático y los errores en la evaluación del mismo.

Para el estudio, se tomó como geode observado el obtenido del modelo geopotencial XGM2019e. Para el cálculo de la ondulación del geode isostático, se tomaron como parámetros de referencia (densidades y espesor de corteza) los correspondientes a los modelos GEMMA (Sampietro *et al.*, 2013) y CRUST 1.0 (Laske *et al.*, 2013).

## Resultados

A partir de la grilla de anomalías de Bouguer del modelo XGM2019e se trazaron isóneas sobre un mapa topográfico de la región (Figura 2.4). En ella se advierten las mayores magnitudes de anomalías en el sector oeste, donde también se localiza la topografía menos uniforme.

Para la evaluación del modelo con datos terrestres, se determinaron las anomalías de Bouguer para los 600 PFA. El resumen estadístico de los residuos se muestra en Tabla 2.1.

**Tabla 2.1.** Resumen estadístico de los residuos entre la anomalía gravimétrica de Bouguer en los puntos IGN y sus homólogos del modelo XGM2019e

Residuos	$\Delta g_{B-Res\ IGN}$
Máximo [mGal]	16,38
Mínimo [mGal]	-22,93
Promedio [mGal]	-0,54
Desv. estándar[mGal]	$\pm 4,67$

El resumen estadístico de los resultados muestra un buen ajuste general del modelo XGM2019e, con un promedio de residuos de -0.54 mGal y una desviación estándar de  $\pm 4,67$  mGal. Estos valores son consistentes con evaluaciones de modelos

globales de similar resolución (Infante *et al.*, 2016).

A fin de analizar la variación espacial de los residuos, se realizó una clasificación de diferencias por rangos de valores (Figuras 2.4). En las Figura 2.4 se identifican en color verde los PFA cuyos residuos se encuentran entre  $0$  y  $\pm 5$  mGal, en color amarillo los puntos cuyos residuos se encuentran entre  $\pm 5$  y  $\pm 10$  mGal y en rojo aquellos puntos cuyos residuos superan los  $\pm 10$  mGal. Sobre el mismo mapa donde se identifican los PFA se trazaron las isoanomalías de Bouguer a fin de facilitar la interpretación (Figura 2.5). Los mayores residuos se ubican en el sector oeste del mapa donde se localizan también las anomalías de Bouguer de mayor magnitud, en correspondencia con la topografía más abrupta.

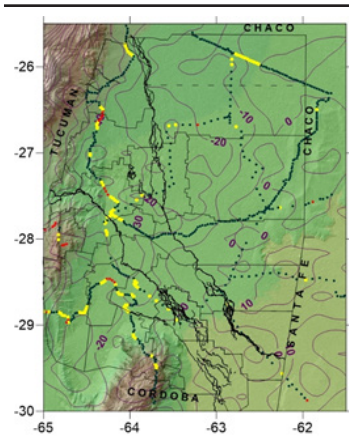


Figura 2.4. Ubicación de los PFA donde se determinaron los residuos con respecto a las anomalías de Bouguer del modelo XGM2019e

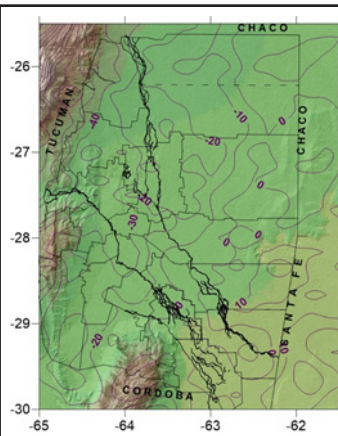
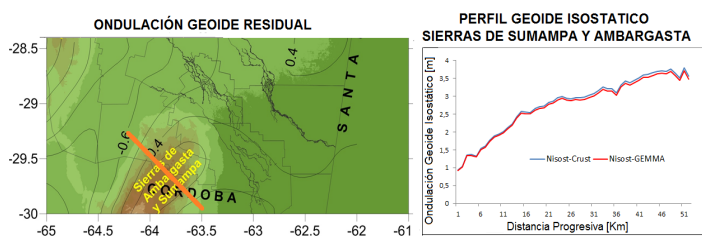


Figura 2.5. Isoanomalías de anomalías gravimétricas de Bouguer del modelo XGM2019e para Santiago del Estero. Unidades de las isocurvas en mGal

Una vez evaluado el modelo XGM2019e y corroborada la bondad del ajuste, se analizaron las anomalías de Bouguer en relación con la topografía (Figura 2.5). Los valores negativos reflejan las deficiencias de masa en el interior de la Tierra. Al correlacionar con la topografía, manifiestan la presencia de estructuras geológicas, tales como sierras, ya que, al eliminarse el efecto de las masas topográficas, la deficiencia de masa se corresponde con raíces corticales que penetran en el manto. Este comportamiento puede ser explicado por las teorías isostáticas.

De este análisis, se concluye que las anomalías de Bouguer representadas en un mapa a escala regional ponen de manifiesto anomalías de masa. Al correlacionar estas con la topografía, se puede inferir la presencia de estructuras geológicas y puede servir de base para futuros análisis.

Para analizar las características corticales de la estructura de las Sierras de Sumampa y Ambargasta, se trazó un perfil que cruza la estructura con una longitud de 50 km y en sentido noroeste a sureste (Figura 2.6, izquierda):



**Figura 2.6.** Ubicación del perfil de la estructura de Sierras de Sumampa y Ambargasta en la provincia de Santiago del Estero (izquierda). Perfil geode isostático (derecha).

Para el análisis, se tomó como geode observado el modelo

XGM2019e. Para el cálculo de la ondulación del geode isostático, se tomaron como parámetros de referencia (densidades y espesor de corteza) los correspondientes a los modelos GEMMA y CRUST 1.0 (Figura 2.6, derecha). El resumen estadístico se muestra en la Tabla 2.2.

	$N_{\text{isost-GEMMA}}$	$N_{\text{isost-Crust 1.0}}$
Máximo [m]	3,71	3,78
Mínimo [m]	0,92	0,93
Promedio [m]	2,73	2,78
Desv. estándar[m]	$\pm 0,77$	$\pm 0,78$

Tabla 2.2. Resumen estadístico de la ondulación geode isostático

El geode residual  $N_{\text{res}}$  se determinó a partir de la ecuación (2.19). Como geode observado  $N_{\text{mod}}$  se tomó la ondulación del geode del XGM2019e, hasta el grado 2190 en términos de armónicos esféricos. Como ondulación del geode regional  $N_{\text{reg}}$  se tomó la ondulación resultante de los modelos truncados y sus desarrollos hasta el grado 100 (longitud de onda asociada 400 km y resolución 200 km). Al restarle a la señal completa la contribución de la larga longitud de onda, se retiene la información relativa a las sierras en estudio. La Figura 2.6 (izquierda) muestra el geode residual del modelo XGM2019e que pone en evidencia la estructura de Sierras de Sumampa y Ambargasta. Los efectos de las masas topográficas generan curvas del geode residual que se cierran en torno a las sierras.

A partir de la ecuación (2.20) se determinaron los desvíos (Figura 2.7) que muestran el apartamiento de la estructura analizada del modelo isostático adoptado, y cuyo resumen estadístico se muestra en la Tabla 2.2. Se advierte que la ondulación del geode isostático tiene un buen ajuste respecto a la ondulación del geode residual (filtrado) del XGM2019e.

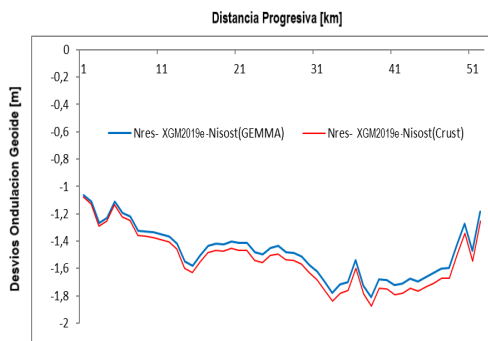


Figura 2.7.- Desvíos modelo isostático con parámetros corteza GEMMA y CRUST 1.0 respecto del geoide residual XGM2019e.

	Desvíos XGM2019e	
	Promedio [m]	Desv. est. [m]
Parámetros GEMMA	-1,48	$\pm 0.18$
Parámetros CRUST 1.0	-1,53	$\pm 0.20$

Tabla 2.2. Resumen estadístico de los desvíos entre geoide isostático y el geoide residual

Con la finalidad de comparar morfológicamente las ondulaciones residuales a las isostáticas, se llevaron los perfiles del geoide isostático y residual a un origen común, corrigiendo el Nisost con el promedio de los desvíos. Posteriormente, se calcularon los coeficientes de determinación (Walpole, *et al.*, 2007) entre Nres y Nisost, y se obtuvo en todos los casos un valor de 0.96, lo que indica buena correlación entre los valores isostáticos y los observados.

Las diferencias entre el geoide residual y el geoide isostático muestran que las características corticales de la estructura son apropiadas.

## Los modelos digitales de elevación global (dem). Evaluación y aplicación

El objetivo general de este apartado es analizar el comportamiento de los modelos de elevación digital SRTM DEM 90 m, AW3D30 y TanDEM-X DEM 90 m para la provincia de Santiago del Estero. Entre los objetivos específicos se han adquirido el manejo de datos de los DEM y de EGM provistos por organismos internacionales, como así también se analizan y aplican datos geodésicos provenientes de la Red POSGAR07 para la provincia de Santiago del Estero.

### Materiales

#### *Zona de estudio*

Para el desarrollo del presente trabajo se estudia una zona comprendida entre las latitudes de 25°30' S y 30° S y las longitudes de 61°30' O y 65° O, que abarca gran parte de la provincia de Santiago del Estero. Esta se caracteriza por la presencia de extensas llanuras y por zonas de serranías hacia el noroeste, el oeste y el suroeste.

### Descripción de los DEM. Misiones satelitales.

#### SRTM DEM 90 m

El modelo global de elevaciones SRTM DEM 90 m tiene una resolución horizontal de 90 m en el ecuador. La cobertura es entre 60° N a 56° S. Los datos están disponibles en CGIAR en mosaicos de 5° x 5° y 6001 x 6001 celdas. El sistema de referencia horizontal es el WGS84 de la NGA. La superficie de referencia vertical es el Modelo EGM96 (*Earth Gravitational Model 96*) (Lemoine *et al.*, 1998), disponible en ICGM. Los errores de altura absoluta vertical se espera que sean menores a 16 m. En



relación con la misión espacial, el vehículo espacial Transbordador Endeavour (NASA) con una tripulación de 6 personas se lanzó el 11 de febrero de 2000, con una duración de la misión de 10 días. Tiene cobertura de la Banda C con la Técnica InSAR. Se caracteriza por el ancho de la cobertura de imagen ScanSAR 225 km, altura nominal 233 km, inclinación orbital 57°, altura sobre el Ecuador 218 km, franjas discretas, ancho 50 km. (Farr *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2005).

La misión SRTM operó como interferómetro de radar de una sola pasada, utilizando las bandas C y X. Cada uno de los dos radares SRTM estaba equipado con una antena principal de transmisión/recepciones situadas en el transbordador y antenas adicionales de solo recepción en el extremo de un mástil retráctil de 60 m (ver Fig. 3.1 y Fig. 3.2) (Farr *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2005).

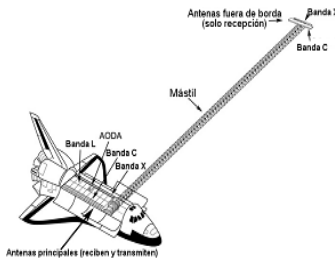


Figura 3.1. Componentes principales de SRTM.

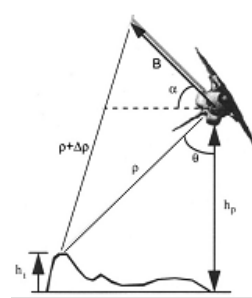


Figura 3.2. Geometría del interferómetro SRTM (no está en escala).

La técnica

Las imágenes radar de dos antenas se adquieren simultáneamente y desde puntos de vista suficientemente cercanas, la

fase de retrodispersión observada en ambas imágenes desde cada punto en el suelo será la misma. La diferencia de fase entre cada punto de imagen será simplemente la diferencia del camino entre las dos mediciones del punto. Si se conoce la posición de las dos antenas (la "línea de base interferométrica B"), las dimensiones del triángulo interferométrico se pueden determinar con precisión, como así también la altura de un punto dado (ver Fig. 3.2), como se muestra en la ecuación (3.1). (Far *et al.* 2007; Rodríguez *et al.* 2000)

$$h_t = h_p - \rho \cos \left[ \text{sen}^{-1} \left( \frac{\lambda \phi}{2\pi B} \right) + \alpha \right] \quad (2.20)$$

en donde  $h_p$  es la altura de la plataforma (altura de la antena con respecto al elipsoide de referencia WGS84),  $\rho$  es la distancia entre el sensor y el punto objetivo,  $\phi$  es la fase interferométrica medida,  $\alpha$  es el ángulo de referencia (inclinación de la base),  $\lambda$  es la longitud de onda de observación,  $B$  es la longitud de la línea de base y  $\theta$  es el ángulo de incidencia del haz o de visión.

#### ALOS World 3D (AW3D)

El DEM AW3D30 tiene una resolución horizontal de 30 m, con una cobertura global entre los 60° N a 60° S. El sistema de referencia horizontal es el Sistema GRS80 (*Global Reference System 80*). La superficie de referencia vertical es EGM96. El modelo digital de superficie (DSM) fue liberado en mayo de 2016 por JAXA, en mosaicos de 1° x 1°, celdas de 3600 x 3600. El error cuadrático medio (RMS) esperado para este DSM es de 4 a 5 m. En relación con la misión espacial DAICHI (*Advanced Land Observing Satellite*), el lugar de lanzamiento fue el Centro Espacial Tanegashima de Japón y la fecha de lanzamiento fue el 24 de enero de 2006. La duración de la misión se extendió desde 2006 a 2011. Está provisto de sensor a bordo PRISM y de sensor radiómetro pancromático con la utilización de la

técnica de imágenes estereoscópicas para la medición precisa de las elevaciones de la Tierra. Ver Fig. 3.3 y 3.4 (Tadono *et al.*, 2014; JAXA).

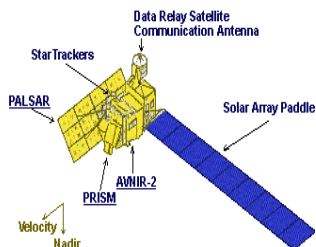


Figura 3.3. Descripción general del satélite ALOS

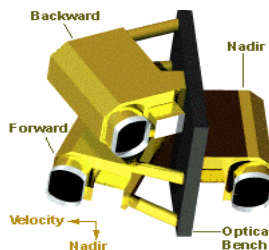


Figura 3.4. Conjunto de telescopios del radiómetro PRISM.

La técnica

Se usaron los datos provenientes de los sensores a bordo PRISM, que es un radiómetro pancromático que opera en la región visible del infrarrojo cercano y tiene tres telescopios para una vista hacia adelante, nadir y hacia atrás (ver Figura 3.4). Por estereoscopia este instrumento mide la elevación precisa del suelo.

<p>Figura 3.5. Geometrías de observación de PRISM. (Tadono <i>et al.</i>, 2014)</p>	<p>Figura 3.6. Formación de hélices satelitales para TanDEM-X.</p>

Cada telescopio de PRISM tiene más de 70 km de campo de visión. El ancho de observación es de 35 km en el modo de observación normal con los tres telescopios. (Ver Fig. 3.5).

#### TanDEM-X 90 m

TanDEM-X DEM tiene una cobertura de 90° N a 90° S con una resolución horizontal de 90 m. El sistema de referencia horizontal y vertical es WGS84. Los mosaicos son de 1° x 1° y celdas de 3600 x 3600. El error de altura absoluta vertical se espera sean menores a 10 m. La misión TanDEM-X está formada por los satélites TanDEM-X y TerraSAR-X. El año de lanzamiento de TanDEM-X fue 2010 y el de TerraSAR-X fue en 2007. La duración de la misión se extendió de 2007 a 2015. La medición de la banda X se realiza con la técnica InSAR. Su órbita es helicoidal, la separación entre satélites es de 120 a 500 m, el ancho de pasada 30 km, la altura nominal 514 km y la inclinación orbital 97.4°. (Krieger *et al.*, 2012; Wessell *et al.*, 2016; DLR).

En la Fig. 3.6 a la izquierda se muestra la ilustración de las órbitas, mientras que a la derecha se observan las líneas de base transversales y radiales en función del argumento de la latitud. Las posiciones de la latitud corresponden a una órbita completa.

#### La técnica

La adquisición de datos interferométricos con la formación de satélites TanDEM-X se logra mediante operaciones biestática, monostática y biestática alterna (ver Fig. 3.7). El modo biestático usa uno de los satélites como transmisor para iluminar una huella de radar común en la superficie de la Tierra. La señal dispersa es luego registrada por ambos satélites simultáneamente. (Krieger *et al.*, 2012; Wessell *et al.*, 2016).

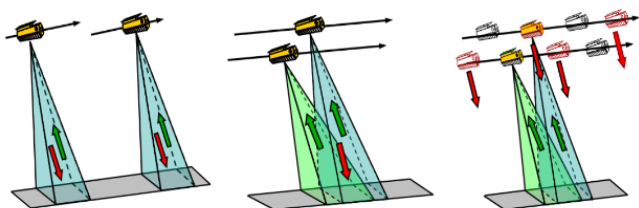


Figura 3.7. Modos de adquisición de datos para TanDEM-X.

### Red Posgar 07

La red POSGAR 07 es el Marco de Referencia Geodésico Nacional del IGN de la República Argentina. La red está referida a ITRF (International Terrestrial Reference Frame) 05 Época 2006.632 compatible con SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) y responde a los estándares de precisión y ajuste en vigencia. La provincia de Santiago del Estero cuenta con 81 puntos de la red POSGAR 07 con una precisión de  $\pm 0,005$  m. (Cimbaro, 2006).

### Metodología

La metodología usada en este trabajo consiste en formular los DEM en términos de alturas elipsoidales (SRTMe, AW3D30e); esto se logra mediante la adición de la altura geoidal del Modelo EGM96 a las alturas SRTM y AW3D30. El modelo TanDEM-X DEM viene expresado en alturas elipsoidales. Como resultado de ello, se han estimado los errores provenientes de las diferencias de alturas entre SRTMe, AW3D30e y TanDEM-X y las alturas de la red geodésica.

Se utilizan, en la metodología, diferentes tipos de alturas de puntos, situados sobre la superficie terrestre. Las alturas físicas están referidas a una superficie que depende de

la gravedad. Las alturas geométricas están referidas a una superficie geométrica.

Si se establece la posición de un punto  $P$  por medio de las coordenadas naturales o astronómicas  $\Phi$ ,  $\Lambda$  y  $H$ , se puede proyectar sobre el geode a lo largo de la línea (ligeramente curvada) de la plomada, la altura ortométrica (ver Fig. 3.8). La altura ortométrica es la distancia entre el punto  $P$  sobre la superficie terrestre y su proyección sobre el geode, medida a lo largo de la línea de la plomada real. Aunque este modo de proyección es completamente natural, el geode no es adecuado para realizar cálculos directamente en él, por lo tanto, el punto se proyecta sobre el elipsoide de referencia, por medio de la normal al elipsoide, del que se obtiene así un punto  $P_0$ . De esta manera, el punto de la superficie terrestre y el punto correspondiente en el elipsoide están conectados por una proyección doble, es decir, por dos proyecciones que se desempeñan una a continuación de la otra y que son la altura ortométrica y la altura del geode sobre el elipsoide. Esta doble proyección se llama proyección de Pizzetti.

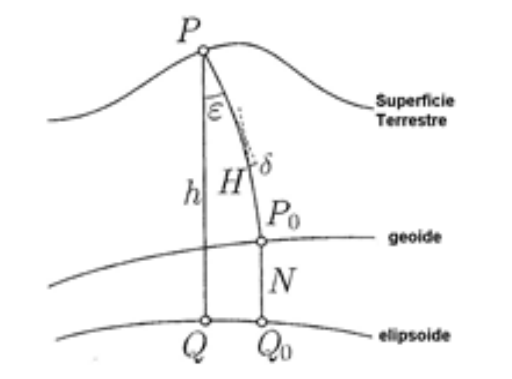


Figura 3.8. La proyección de Helmert y de Pizzetti. (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006).

Es más sencillo proyectar el punto de la superficie topográfica directamente sobre el elipsoide a través de la normal elipsoidal, para obtener así un punto . La distancia es la altura sobre el elipsoide. El punto sobre la superficie terrestre es determinado por la altura elipsoidal  $h$  y las coordenadas elipsoidales de sobre el elipsoide, de modo que las coordenadas elipsoidales  $\phi$ ,  $\lambda$  y toman el lugar de las coordenadas naturales  $\Phi$ ,  $\Lambda$  y . Esta es la proyección de Helmert. La diferencia práctica entre las proyecciones de Pizzeti y de Helmert es pequeña (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006). La ecuación (3.2) es una aproximación en la que se desprecia el efecto de la desviación de la vertical y relaciona a la altura elipsoidal con la altura ortométrica , a través de la altura geoidal (Hofmann-Wellenhof y Moritz, 2006; Torge, 2001).

$$h = H + N \quad (3.2)$$

Se comparan las alturas de los DEM con las alturas de la red POSGAR 07. Se considera que la precisión de las coordenadas POSGAR 07 satisfacen el requisito de precisión en las posiciones (Felicísimo, 1994). Los sistemas de referencia de los conjuntos de datos son consistentes. En relación con las superficies de referencia de las alturas, los DEM SRTM 90 m y AW3D30 refieren sus alturas al Modelo EGM96, o sea, son alturas físicas, mientras que las posiciones POSGAR 07 proporcionan alturas elipsoidales. Con la finalidad de comparar las alturas, respecto de la misma superficie de referencia, se han procesado los datos de SRTM DEM 90 m y AW3D30, para cada nodo de la grilla, para la obtención de las alturas elipsoidales, para lo cual se aplicó la ecuación 3.2. El modelo TanDEM-X DEM tiene sus coordenadas y alturas expresadas respecto del elipsoide de revolución WGS84, por lo que se comparan las alturas elipsoidales del mismo con las alturas elipsoidales POSGAR 07, sin procesamiento previo.

A continuación, se comparan las alturas elipsoidales de

cada uno de los DEM con las alturas elipsoidales de los puntos POSGAR 07, usando la ecuación (3.3) (Felicísimo, 1994).

$$d^h = h^{\text{DEM}} - h^{\text{POSGAR 07}} \quad (3.3)$$

en donde  $d^h$  es la diferencia de alturas elipsoidales o error;  $h^{\text{DEM}}$  es la altura elipsoidal del DEM;  $h^{\text{POSGAR07}}$  es la altura elipsoidal de los puntos POSGAR 07.

Con la finalidad de analizar el comportamiento de la componente aleatoria de los DEM, en la zona de trabajo, se aplican los estadísticos: valor máximo, el valor mínimo, el promedio o error medio (EM) y el error cuadrático medio (ECM o RMS) (Felicísimo, 1999). También se aplica la desviación estándar ( $\sigma$ ), que es una medida de dispersión de los errores con respecto al valor promedio, como otro indicador de la precisión vertical del DEM (Rodríguez *et al.*, 2005; Galván, 2014).

## Resultados y discusión

Se calcularon los errores para 71 puntos de la red POSGAR 07 y sus homólogos en los modelos, obteniendo los resultados en la Tabla 3.1, aplicando la ecuación (3.3). Del total de puntos POSGAR 07 disponibles para la provincia, no se han tenido en cuenta los puntos correspondientes a las estaciones permanentes, debido a que los instrumentos GPS se encuentran estacionados sobre las terrazas de los edificios gubernamentales y las alturas de las antenas no están publicadas. Los restantes puntos se encuentran al oeste de la provincia, en lugares fuera de los mosaicos procesados.



Estadísticos (m)	SRTM DEM	AW3D30	TanDEM-X DEM
Promedio	2,20	1,52	0,07
Máximo	5,94	4,89	2,34
Mínimo	-6,74	-1,24	-6,87
$\sigma$	$\pm 1,80$	$\pm 1,23$	$\pm 1,37$
RMS	2,83	1,95	1,36

Tabla 3.1. Estadísticos de la diferencia de alturas elipsoidales (errores) en metros

Se observa en la Tabla 3.1 que TanDEM-X DEM presenta un promedio de 7 cm, el modelo AW3D30 1,52 m y SRTM DEM 2,20 m. El modelo TanDEM-X DEM es el que presenta el menor valor de error en promedio. El RMS para TanDEM-X DEM es de 1,36 m lo que pone de manifiesto que los errores grandes son escasos. El RMS para AW3D30 es de 1,95 m y de 2,83 para SRTM. Con respecto a la desviación estándar, AW3D30 mostró un valor de 1,23 m lo que muestra las menores dispersiones respecto del promedio. Los DEM SRTM y TanDEM\_X presentan una sigma de 1,80 m y 1,37 m, respectivamente.

Se han calculado los histogramas de frecuencia para visualizar la distribución de los errores.

La Figura 3.9 muestra el histograma de frecuencia de SRTM DEM. La distribución de puntos está centrada en el intervalo de [2 m; 3 m]. Se observa la presencia de un punto fuera de la distribución.

El histograma de frecuencia de AW3D30 se muestra en la Figura 3.10. La distribución de los errores es más simétrica con respecto al valor central, que no coincide con el cero, sino que está desplazada hacia el intervalo [1 m; 2 m].

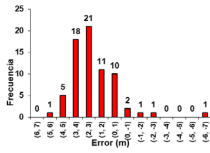


Figura 3.9. Histograma de frecuencia para SRTM DEM.

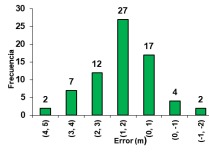


Figura 3.10. Histograma de frecuencia para AW3D30.

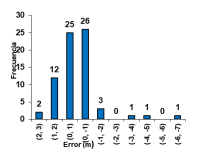


Figura 3.11. Histograma de frecuencia para TanDEM-X DEM.

En el histograma correspondiente a TanDEM-X DEM (ver Figura 3.11), se observa una distribución de los errores, en la que la mayor cantidad de puntos se encuentra en el intervalo [0 m; -1 m]. La mayor cantidad de los puntos analizados se encuentran entre los intervalos positivos. También se observa la presencia de puntos fuera de la distribución.

La Figura 3.12 muestra la dispersión de los errores respecto del promedio. En color rojo se presentan los errores entre los modelos: SRTM DEM (rojo), AW3D30 (verde), TanDEM-X (azul) y las alturas de la red geodésica. El conjunto de errores correspondiente al modelo TanDEM-X muestra la menor dispersión respecto del promedio.

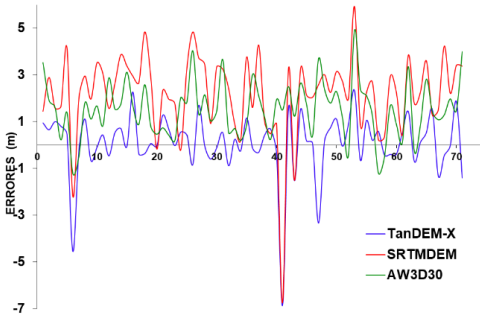


Figura 3.12. Diagrama de dispersión de los errores entre los modelos SRTM DEM, AW3D30, TanDEM-X DEM y las alturas POSGAR 07.

A continuación, se presentan los mapas de diferencias que muestran la distribución geoespacial de los errores en ubicación y magnitud.

En la Figura 3.13 se observan las diferencias con respecto al modelo SRTM DEM, con un buen ajuste general para la provincia. Se distinguen diferencias mayores a 4 m en zonas ubicadas al noroeste en las Sierras de Medina, al oeste de las Sierras de Guasayán, al suroeste de la provincia, en las Sierras de Sumampa y Ambargasta y las Salinas de Ambargasta y una zona al este, cercana a la localidad de Árbol Blanco (09-009). En la zona centro-norte y la zona sudoeste de la provincia se encuentran errores menores a 2 m en valor absoluto. Las restantes regiones muestran errores entre 2 y 4 m en valor absoluto.

Por su lado, en la figura 3.14 se observa el mapa de diferencias de alturas entre AW3D30 y POSGAR07. En este se aprecia un mejor ajuste del DEM a la zona de estudio, en donde solo hay errores mayores a 2 m en valor absoluto en el noroeste, en el oeste, sudoeste y noreste de la provincia.

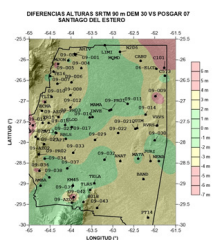


Figura 3.13. Mapa de diferencias de alturas entre SRTM DEM y POSGAR07.

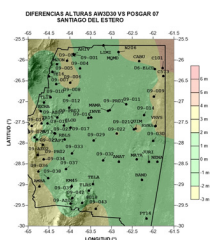


Figura 3.14. Mapa de diferencias de alturas entre AW3D30 y POSGAR07.

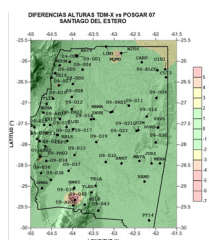


Figura 3.15. Mapa de diferencias de alturas entre TanDEM-X DEM y POSGAR07.

TanDEM-X DEM presenta, en la Figura 3.15, el mapa de diferencias de alturas con respecto a POSGAR07. El modelo TanDEM-X presenta muy buen ajuste en la zona de estudio. Los

errores no superan los 2 m de altura en toda la provincia. Solo se observan pequeñas zonas en la que los errores superan los 2 m. Estas zonas están ubicadas en las Sierras de Sumampa y Ambargasta (sudoeste) y en la localidad de Monte Quemado, al norte de la provincia.

## Conclusiones

Los modelos geopotenciales globales permiten disponer de valores del campo gravitacional terrestre de manera homogénea y continua en toda la Tierra. De este análisis, se concluye que las anomalías de Bouguer representadas en un mapa a escala regional ponen de manifiesto anomalías de masa. Al correlacionarlas con la topografía, se puede inferir la presencia de estructuras geológicas y, además, puede servir de base para futuros análisis isostáticos.

Es posible emplear la ondulación del geoide isostático sobre una estructura para inferir, a partir de ella, el balance isostático y las características corticales. Analizando la estructura de las Sierras de Sumampa y Ambargasta en la provincia de Santiago del Estero, en el sistema de Airy, se obtuvo un geoide isostático correspondiente a un modelo compensado, el que fue comparado con un geoide residual derivado de un modelo geopotencial. Los desvíos obtenidos permiten corroborar que los parámetros corticales usados para el modelo teórico de corteza son apropiados y que la estructura tiende al equilibrio isostático.

En consecuencia, este procedimiento, pone en evidencia que la ondulación isostática del geoide podría ser apropiada para validar modelos de corteza, siempre que las estructuras analizadas tengan evidencias de estar isostáticamente equilibradas.

El SRTM DEM presenta una sigma de 1,8 m y errores menores a 4 m en la zona de estudio, por lo cual el DEM presenta un

buen ajuste en la provincia de Santiago del Estero. La presencia de zonas de elevadas pendientes y suelos salinos introducen errores en la determinación final de las alturas del DEM. Las diferencias entre el modelo y las mediciones de campo son producto de errores interferométricos de la misión del transbordador, de las características topográficas y del tipo de cobertura del terreno.

El AW3D30 DEM presenta un RMS de 1,95 m, lo que demuestra el buen ajuste de este modelo a la región. Los errores no sobrepasan los 4 m para casi toda la provincia. Una gran superficie de la zona de estudio tiene errores menores a 2 m. Los errores entre 2 m y 4 m están geolocalizados en resultados. Las razones de estos errores tienen relación con la presencia de serranías y suelos salinos, eventualmente por errores este-reoscópicos y/o cobertura de nubes.

El modelo TanDEM-X DEM presenta un muy buen ajuste en la provincia; los errores encontrados son menores a 2 m en la zona de estudio. Los errores mayores a 2 m y menores a 7 m son escasos y bien localizados. Uno de ellos por efectos de la pendiente y la presencia de suelos salinos. Este DEM opera en la banda X, que ya había mostrado mejores resultados en SRTM que trabajó con las bandas C y X. La banda X mostró evaluaciones más precisas. Asimismo, la misión satelital ha mejorado la obtención de los datos desde satélites gemelos con órbitas estables y distancia ajustable entre ellos.

El aporte de los modelos geopotenciales y los modelos digitales de elevación es fundamental en la Geodesia y en las Ciencias de la Tierra, que van desde los efectos prácticos como la determinación de la ondulación del geoides, la topografía, hasta aplicaciones científicas como las investigaciones de la estructura interna de la Tierra.

## **Agradecimientos**

Al Consejo de Investigación de Ciencia y Tecnología (CICYT) de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE).

Se agradece muy especialmente al Instituto Geográfico Nacional (IGN) por la disponibilidad de los datos empleados en el presente trabajo para la zona de análisis.

## Bibliografía

- ALOS Global Digital Surface Model. 28.8.2020. *ALOS World 3D - 30m (AW3D30)*. <https://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30/index.htm>.
- Argentina. Ministerio de Defensa (13 de septiembre de 2021). *Instituto Geográfico Nacional*. <https://www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Introduccion.28.8.2020>.
- Barthelmes, Franz. (2013). "Definition of Functionals of the Geopotential and their calculation from Spherical Harmonics Models". *GFZ series Scientific Technical Reports STR. 09 (02)*, pp. 2-36.
- Centro Internacional de Modelos Globales de la Tierra (IC-GEM). 28.8.2020. <http://icgem.gfz-potsdam.de/home>.
- Crovetto, Carolina; Molinari, Ramiro e Introcaso, Antonio. (2006). "Aproximaciones para el cálculo del geoide isostático". *Revista de la Asociación Geológica Argentina*. 61 (3), pp. 336-346.
- Del Cogliano, Daniel. (2006). *Modelado del Geoide con GPS y Gravimetría. Caracterización de la estructura geológica de Tandil*. Tesis Doctoral. FCElyA - UNR.
- DLR Deutsches Zentrum für Luft – und Raumfahrt. (2010). "TanDEM-X. The Earth in three dimensions". *Centro Aeroespacial Alemán*. <https://www.dlr.de/content/en/missions/tandem-x.html>
- Drinkwater, Mark R.; Floberghagen, Rune; Haagmans, Roger; Muzi D, Popescu A (2003). "GOCE: ESA's first earth explorer core mission". In: Beutler G et al (eds) *Earth gravity field from space*. Series of ISSI. (18), pp. 419–432. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Farr, Tom G.; Rosen, Paul A.; Caro, Edward; Crippen, Robert., et al. (2007). "The Shuttle Radar Topography Mission". *Reviews of Geophysics*. 45 (RG2004), pp. 1-33.
- Felicísimo, Angel M. (1994). *Modelos Digitales del Terreno. Introducción y aplicación en las ciencias ambientales*. Extremadura: Pentalfa.

- Förste, Christoph; Bruinsma, Sean; Abrikosov, Oleh; Lemoine, Jean-Michel; Schaller, T.; Götze, H.Ebbing, J.; Marty, Jean Charles; Flechtner, Frank; Balmino, G. and Biancale, Richard.. (2014). "EIGEN-6C4 The latest combined global gravity field model including GOCE data up to degree and order 2190 of GFZ Potsdam and GRGS Toulouse".
- Fowler, Christine Mary Rutherford, (2005). *The solid earth. An introduction to Global Geophysics*. Cambridge University Press. (2° Ed.)
- Fuente de datos SRTM. (28.8.2020). <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>
- Galván, Lucrecia (2014). *Análisis y Ajuste de Modelos Digitales de Elevaciones en la Región Central de la Argentina. Integración de Modelos Geopotenciales e Información Altimétrica Local*. Tesis de Maestría de la UNLP. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/43457>
- Gilardoni, Maddalena; Reguzzoni, Mirko y Sampietro, Daniele (2016). "GECO: a global gravity model by locally combining GOCE data and EGM2008". *Stud Geophys Geod.* (60), pp. 228–247.
- Haxby, William F. y Turcotte, Donald, (1978). "On isostatic geoid anomalies". *Journal Geophysical Journal.* (94), pp. 3876–3890.
- Hofmann-Wellenhof y Moritz (2006). *Physical Geodesy*. New York: Springer Wien.
- IGN (2017). *Red Altimétrica de la República Argentina*. [https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07\\_pg\\_web/documentos/Red\\_Altimétrica\\_de\\_la\\_República\\_Argentina](https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Red_Altimétrica_de_la_República_Argentina).
- Infante, Claudia (2013). *Detección de estructuras geológicas potencialmente en equilibrio isostático a partir del análisis de modelos geopotenciales y anomalías de Bouguer*. Tesis de Maestría. UNLP.
- Ince, E. Sinem; Barthelmes, Franz; Reißland, Sven; Elger, Kirsten; Foerste, Christoph; Flechtner, Frank; Schuh, Harald. (2019). "ICGEM – 15 years of successful collection and distribution of global gravitational models, associated services



- and future plans". *Earth System Science Data*. (11), pp. 647-674.
- Infante, Claudia.; Tocho, Claudia; Del Cogliano, Daniel. (2017). "Analysis of isostatically-balanced cortical models using modern global geopotential models". *Bulletin of Geodetic Sciences*. 23 (4), pp. 623 – 635.
- Japan Aerospace Exploration Agency. (2008). *ALOS Data User Handbook*.
- Kvas, Andreas; Mayer-Gürr, Torsten; Krauss, Sandro; Brockmann, Jan Martin; Schubert, Till; Schuh, Wolf-Dieter; Pail, Ronald; Gruber, Thomas; Jäggi, Adrian; Meyer, Ulrich. (2019) *The satellite-only gravity field model GOCO06s*. GFZ Data Serv. <https://doi.org/10.5880/ICGEM.2019.002>
- Krieger, Gerhard; Zink, Manfred; Schulze, Daniel; Hajnsek, Irena; Moreira, Alberto. (2012). *TanDEM-X: Mission Overview and Status*.
- Laske, Gabi; Ma, Zhitu; Masters, Guy; and Pasyanos, Michael (LLNL). (2013). *CRUST 1.0.A New Global Crustal Model at 1x1 Degrees*.
- Lemoine, Francois; Pavlis, Nikolaos; Rapp, Richard. (1998). "New high-resolution model developed for Earth's gravitational field". *Eos, Transactions American Geophysical Union*. (79), 113-118.
- National Geospatial-Intelligence Agency (5 de agosto de 2021). "World Geodetic System 1984 (WGS 84)". Office of Geomatics. [https://earth.info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr850\\_2.html](https://earth.info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/tr850_2.html). 28.8.2020.
- Pavlis, Nikolaos K; Holmes Simon A.; Kenyon Steve C.; Factor John K. (2012). "The development and evaluation of the Earth Gravitational Model 2008 (EGM2008)". *Journal of Geophysical Research*. (117), pp. 1-38.
- Reigber, Christoph; Balmino, Georges; Schwintzer, Peter; Biancale, Richard; Bode, Albert, Lemoine, Jean-Michel; Koning, Rolf; Loyer, Silvain; Neumayer, Hans; Marty, Jean-Cgares; Barthelmes, Franz; and Perossanz, Felix. (2002). "A high quality global gravity field model from CHAMP GPS tracking

- data and accelerometry (EIGEN-1S)". *Geophysical Research Letters*. 29 (14), pp. 1-4.
- Rodríguez, Ernesto; Morris C. S.; Belz J.E.; Chapin, Elaine; Martin, Jan; Daffer W.; Hensley, Scott. (2005). *An Assessment of the SRTM Topographic Products*. JPL. Jet Propulsion Laboratory D- 31639. NASA.
- Sampietro, Daniele and Reguzzoni, Mirko. (2013). "Global Moho from the combination of the CRUST2.0 model and GOCE data". *Geophysical Journal International*. 195 (1), pp. 222–237.
- Tadono, Takeo; Ishida, Haruyuki; Oda, Fumiko; Naito, Shino; Minakawa, Kenta.; Iwamoto, Hiroyuki. (2014). "Precise Global DEM Generation by ALOS PRISM". *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. (II-4), pp. 71-76.
- Tadono, Takeo; Nagai, Hiroto; Ishida, Haruyuki; Oda, Fumiko; Naito, Shino; Minakawa, Kenta; Iwamoto, Hiroyuqui. (2016). "Generation of the 30 m-mesh global digital surface model by ALOS PRISM". *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. (XLI-B4), pp. 157-162.
- Torge, Wolfgang. (2001). *Geodesy*. (3° Ed.). Berlin – New York: Walter de Gruyter.
- Torge Wolfgang. (1989). *Gravimetry*. Berlin, New York: Walter de Gruyter.
- The TanDEM-X 90 m Digital Elevation Model. 28.8.2020. <https://geoservice.dlr.de/web/dataguide/tdm90/>.
- Tapley, Biron D.; Bettadpur, Srinivas; Watkins, Michael and Reigber, [Christoph](#), (2004). "The gravity recovery and climate experiment: mission overview and early results". *Geophysical Research Letters*, 31(9), pp. 1-7.
- Wessel, Birgit. (2016). "TanDEM-X. Ground Segment". *DLR. DEM Products Specification Document*. (3.2), pp. 1-49.
- Zingerle, Philipp; Pail, Roland; Gruber, Thomas. and Oikonomidou, Xanthi . (2020). "The combined global gravity field model XGM2019e". *Journal of Geodesy*. 94 (66), pp. 1-12.

# EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DE MADERA PARA USOS SÓLIDOS EN ESPECIES CON APTITUD MADERERA DE LA REGIÓN CHAQUEÑA SECA

JUANA GRACIELA MOGLIA<sup>1</sup>; ANA BELÉN CISNEROS<sup>2</sup>;  
DAMIÁN GONZÁLEZ<sup>3</sup>; VANINA CHIFARELLI<sup>4</sup>; JOSÉ DÍAZ ZIRPOLO<sup>5</sup>;  
ADRIÁN BENDER<sup>6</sup>; MIRYAM ETHEL LUDUEÑA<sup>7</sup>

## Resumen

En la Región Chaqueña, el sobreuso forestal y el avance de la frontera agropecuaria aumentaron la presión sobre tierras forestales para reconvertirlas a diferentes usos con la consiguiente degradación y desaparición de grandes superficies de bosques naturales. Por consiguiente, las plantaciones forestales repre-

1 Directora del proyecto, Prof. Titular de Dendrología. FCF (UNSE).

2 Dra. Ing. Forestal. Instituto de Bionanotecnología del NOA (INBIONATEC). Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnica

3 Dr. Ing. Forestal. INSIMA. Cátedra de Agrometeorología FCF (UNSE).

4 Ing. Forestal. FCF (UNSE).

5 Dr. Ing. Forestal. INSIMA. Laboratorio de Anatomía de Madera. FCF (UNSE). Prof. Adjunto Dendrología.

6 Dr. en Ciencias Agrarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral.

7 Ing. Industrias Forestales. ITM. FCF (UNSE).

sentarán a medio plazo la fuente más importante de abastecimiento a la industria de la madera. Por eso, es necesario que en los planes de manejo y mejoramiento se incorporen variables referidas a la calidad de la madera. Este proyecto planteó la caracterización y evaluación de la variación de los parámetros de calidad de la madera de materiales selectos de especies con aptitud maderera de la región Chaqueña Seca, mediante el análisis de propiedades físicas tales como la densidad básica y los cambios dimensionales, además del ritmo de crecimiento y los caracteres macro y microscópicos. Desde el Estado Nacional para la región Chaqueña se recomienda la plantación de las especies *Prosopis alba* Griseb. y *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Se incluyó también a *Gonopterodendron sarmientoi* (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki, una especie endémica de gran importancia que, debido a la belleza y características de su madera, sufrió sobreexplotación desmedida y se encuentra actualmente protegida. En la caracterización y determinación de modelos de crecimiento se incluyó a *Prosopis affinis* Spreng., una especie característica de la región de monte. El proyecto se llevó a cabo en los diferentes sitios de distribución de las especies mencionadas y en un ensayo de progenies *Eucalyptus camaldulensis* instalado en Santiago del Estero. El conocimiento de la variabilidad de la madera es un tema imprescindible para el correcto aprovechamiento de este recurso. Categorizar los grados de calidad de madera de los diferentes materiales de ambas especies contribuye a escoger los mejores materiales genéticos con base en la calidad de la madera y obtener índices sencillos de calidad, dar un mayor valor a la misma y, por ende, impulsar y alentar su cultivo para así revertir, en parte, la degradación del bosque remanente del Chaco.

Palabras clave: Calidad madera; Productividad; eucalipto; algarrobo; palo santo

## Abstract

In the Chaco Region, the overuse of forests, the advance of the agricultural and livestock border increased the pressure on forest lands to convert them to different uses with the consequent degradation and disappearance of large areas of natural forests. Forest plantations will therefore be the most important source of supply to the timber industry in the medium term. It is therefore necessary to incorporate wood quality variables in management and improvement plans. This project proposed to characterize and evaluate the variation of the quality parameters of the wood of selected materials of both species through the physical properties, basic density, dimensional changes, growth rate and macro and microscopic characters of species with timber aptitude of the Dry Chaco region. From the National State for the Chaco region the *Prosopis alba* Griseb species are recommended and *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. Also included was *Gonocopiodendron sarmientoi* (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki., an endemic species of great importance that, due to the beauty and characteristics of its wood, determined its excessive overexploitation and is currently protected. In the characterization and determination of growth models, *Prosopis affinis* Spreng., A characteristic species of the Monte region, was included. The project was carried out in the different distribution sites of the mentioned species and in a test of *Eucalyptus camaldulensis* progeny installed in Santiago del Estero. Knowledge of the variability of wood is an essential issue for the correct use of this resource. Categorizing the wood quality grades of the different materials of both species contributes to choosing the best genetic materials based on wood quality and obtaining simple quality indices, giving it a higher value and therefore promoting and encouraging its cultivation, thus partially reversing the degradation of the remaining Chaco forest.

Keywords: Wood quality; Productivity; *eucalyptus*; mezquite; palo santo

## Introducción general

El consumo progresivo de productos de madera desde el comienzo de la era industrial ha dado pleno sentido a las inversiones forestales y ha promovido la mayor consideración del papel productivo y económico de los bosques. Sin embargo, el crecimiento demográfico y el advenimiento de nuevas tecnologías hizo cada vez mayor la presión sobre tierras forestales hasta convertirlas a diferentes usos, con la consiguiente degradación y desaparición de grandes superficies de bosques naturales. Por lo tanto, se prevé que las plantaciones forestales representarán a medio plazo la fuente más importante de abastecimiento a la industria de la madera en el mundo (Baso López, 2003). Por eso, es menester que en los planes de manejo y mejoramiento se incorporen variables referidas a la calidad de la madera. La recomposición de las funciones productivas del bosque podría lograrse a través del desarrollo y la creación de sistemas productivos sustentables adaptados a las condiciones ecológicas y sociales particulares de cada región, que incorporen las áreas marginales a la actividad económica del país. En este sentido, varias especies del género *Prosopis* presentan el potencial de convertirse en el eje biológico de los nuevos sistemas de producción y también el *Eucalyptus camaldulensis* en Santiago del Estero, donde el material genético seleccionado ha demostrado tener muy buenos valores de crecimiento y forma para las condiciones ecológicas locales y potencialmente adecuados para el cultivo de bosques con fines industriales en el noroeste argentino (López, 2005).

El proyecto se planteó en relación con los siguientes objetivos:

### *Objetivo general*

Caracterizar y evaluar la variación de los parámetros de calidad de la madera de materiales selectos de ambas especies, mediante el análisis de propiedades físicas tales como la densidad básica, los cambios dimensionales, el ritmo de crecimiento y caracteres macro y microscópicos de especies con aptitud maderera de la Región Chaqueña Seca.

### *Objetivos específicos*

- Evaluar la calidad de la madera para usos sólidos de diferentes materiales genéticos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.
- Evaluar los parámetros de calidad de madera de *Prosopis alba* Griseb. de rodales semilleros selectos.
- Evaluar la interacción entre las variables de calidad de leño con el ambiente en los rodales semilleros de *Prosopis alba* Griseb.
- Determinar la tasa de crecimiento y los sitios de mayor crecimiento de *Gonopterodendron sarmientoi* (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki.
- Evaluar la dinámica del crecimiento y forma de *Prosopis alba* Griseb. y *Prosopis affinis* Spreng.

El presente proyecto se dividió en líneas de investigación, a fin de facilitar su ejecución y coordinación (Figura 1).

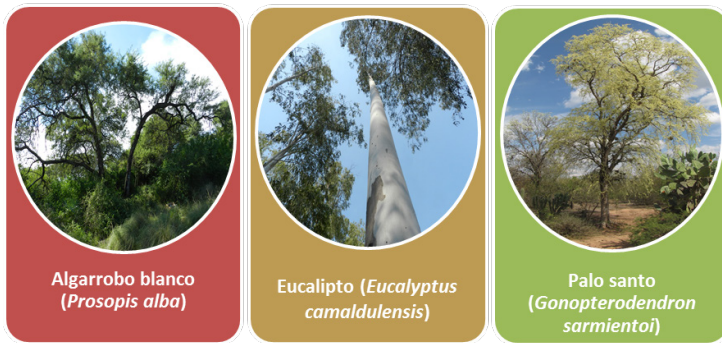


Figura 1. Líneas de investigación.

En las Figuras 2 y 3 se detallan las metodologías empleadas. En cada línea de investigación, además, se adoptaron metodologías específicas.

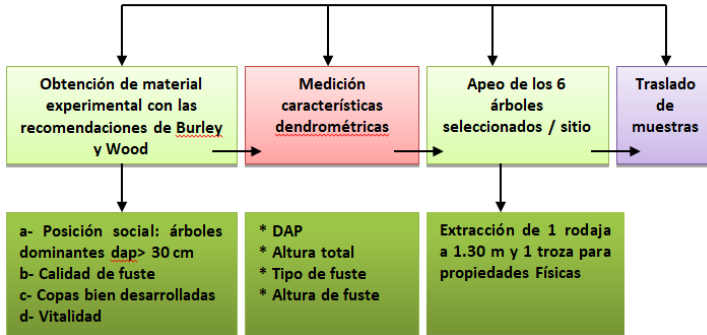


Figura 2. Metodología a campo para la obtención de las muestras.



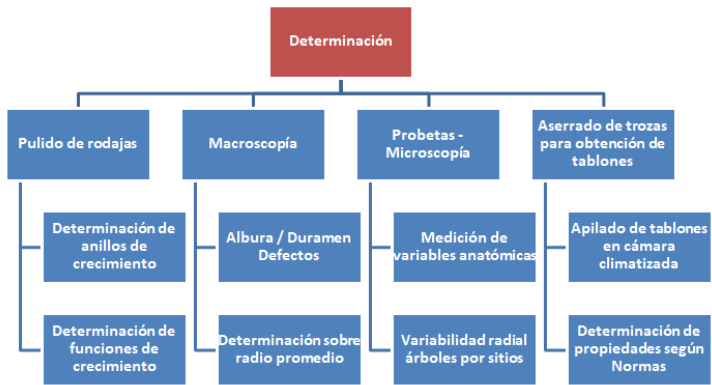


Figura 3. Metodología para la obtención de muestras en laboratorio.

### Línea *Prosopis alba* Griseb.

*Crecimiento, caracteres morfológicos y calidad de madera de Algarrobo blanco*

En el marco del proyecto PNFOR 044341, conducido por el INTA y denominado “Domesticación de especies forestales nativas del Parque Chaqueño (algarrobo)” se muestrearon los distintos individuos en tres rodales semilleros (Figura 4) con la finalidad de desarrollar la presente línea de investigación.



Figura 4. Ubicación del material colectado de *Prosopis alba*. Rodales (R): R05= Isla Cuba, R10 =Villa Ángela, R 11 =Los Arias

Los sitios denominados Isla Cuba (Formosa) y Villa Ángela (Chaco) fueron las poblaciones que presentaron los mejores crecimientos de los árboles de mayor tamaño y forma. En general, cada rodal es representativo de distintos tipos morfológicos de *Prosopis alba*, ubicados, además, en distintos ambientes fitogeográficos. Para la obtención de las muestras se seleccionaron 6 individuos adultos y sanos, sin daños visibles, según las recomendaciones de Burley y Wood (1979) de cada sitio de muestreo para evaluar la variabilidad en calidad de madera.

La relaciones determinadas entre la edad y otros parámetros dendrométricos fueron funciones lineales entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la edad, y se encontró, para todos los sitios y la plantación, un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0,99. Las relaciones polinómicas de segundo grado

(sección normal y la edad) registró un  $R^2$  de 0,99 para todos los sitios, mientras que el espesor de anillos y la edad también se ajustó a una función polinómica, pero los coeficientes encontrados fueron inferiores a 0,5. Los modelos encontrados son similares a otros ya publicados para otras especies.

*El IMA e ICA de los individuos al DAP se intersecta en las edades de 10 a 15 años, mientras que de la sección normal no hubo intersección a las edades estudiadas.*

El análisis de densidad básica indicó que el sitio no tiene efectos significativos ( $p > 0,05$ ) en la misma, mientras que los árboles dentro de cada sitio sí tienen efectos significativos ( $p < 0,05$ ) en la densidad.

El estudio microscópico de los rodales, particularmente R05= Isla Cuba, indicó que hay diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) en las variables microscópicas estudiadas respecto a los demás sitios de muestreo de *Prosopis alba*.

En cuanto a los caracteres macroscópicos, la diferencia en la proporción de albura-duramen para todos los sitios e individuos dentro de cada sitio fue menor ( $p < 0,05$ ) a un 15%.

El color de los individuos varió entre sitios y dentro de sitios, incluso dentro de un mismo individuo; estas diferencias fueron de apreciables a muy apreciables. Los sitios más húmedos presentaron las maderas más oscuras y los más áridos maderas más claras. Esto es de suma importancia para la industria del mueble.

Las grietas en la médula fueron los defectos más frecuentes encontrados en la totalidad de los individuos en Villa Ángela e Isla Cuba, con un 83,3% en Los Arias y 66,7% en San Isidro.

### *Conclusión*

*Prosopis alba* presenta valores de densidad básica intermedia de 0,60 gr/cm<sup>3</sup> y su madera resulta muy estable y de escasa

variabilidad entre sitios (rodales), por lo cual la preferencia en la selección para calidad de leños se centraría en buscar mayores longitudes de fuste para así obtener mayor volumen y menor cantidad de defectos.

### *Colorimetría de Algarrobo blanco*

En el marco de las actividades realizadas en Curitiba (Brasil), se obtuvieron los datos colorimétricos con el sistema CIELab en plantaciones y rodales nativos de *Prosopis alba* de los sitios de la Región Chaqueña argentina.

Existieron variaciones en rasgos colorimétricos dentro del árbol y entre árboles, lo cual está directamente relacionado con las condiciones del sitio de crecimiento. Se comprobó que el duramen de árboles en sitios de mayores precipitaciones tiende a ser más oscuro que en sitios de menor precipitación ( $> L^*$ ).

Entre el duramen y la albura se registraron amplios rangos de color, con  $\Delta E = 17,16$  (4,31; 32,9), lo que constituye variables a tener en cuenta en cuanto al empleo de la madera de *Prosopis alba* como materia prima para la industria del mueble.

Las correlaciones de parámetros colorimétricos con rasgos morfométricos indicaron que el tamaño de los árboles (altura total, DAP, volumen de copa, índice de copa) así como la edad, según se muestra en el gráfico de la Figura 5, tuvieron efecto sobre el color de la madera y su uniformidad.

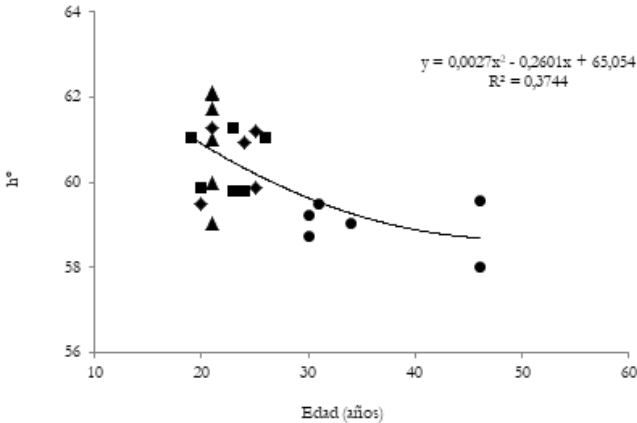


Figura 5. Relación entre el ángulo de tinta (hº) y la edad del árbol. Villa Ángela; Los Arias; Plantación (San isidro); Isla Cuba.

Fuente: Cisneros (2020)

### *Análisis de las propiedades físicas de Algarrobo blanco*

Densidad básica. El sitio no tuvo efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la densidad básica ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ ), pero sí entre árboles. Estos resultados podrían ser una herramienta importante para hacer correlaciones genéticas entre la densidad básica y la tasa de crecimiento.

*Cambios dimensionales.* La estabilidad dimensional de la madera es indispensable para un buen aprovechamiento del recurso forestal como madera de uso sólido.

La contracción total de la madera de *Prosopis alba* en todos los sitios estudiados fue muy pequeña (radial = 1,63 a 1,73% y tangencial de 2,99 a 3,35%).

Los rangos de valores de contracción volumétrica por sitio van de 5,15 en Villa Ángela a 5,40 en Isla Cuba. Con base en estos criterios, esta especie puede considerarse como estable o

normal a excepción de los individuos del sitio Isla Cuba (2,076) que se clasificarían como moderadamente estables.

### *Arquitectura vegetal de algarrobo blanco y ñandubay*

La evaluación de la dinámica del crecimiento y la forma en que el algarrobo blanco (*Prosopis alba* Griseb.) y el ñandubay (*Prosopis affinis* Spreng.) construyen su fuste y sus ramas principales y secundarias posibilitó comprender su modelo arquitectural y la unidad arquitectural. A partir de esta información, es posible interpretar un aspecto importante de la biología de estas especies y, a partir de allí, se pueden sugerir las herramientas de manejo más adecuadas.

El modelo de *Champagnat* fue el que mejor se adecuó a las características morfológicas de *Prosopis alba* y *Prosopis affinis*. La secuencia de desarrollo se describió a partir de la observación de árboles del futuro, presente y pasado, y se encontraron en cada fase de desarrollo características propias de cada estadio. Así, la arquitectura vegetal constituye una herramienta útil para el entendimiento del crecimiento y del desarrollo de las especies forestales, así como para la comprensión de las respuestas de los árboles a las prácticas de manejo habituales; estos conocimientos pueden complementarse con la dendrometría para permitir la toma de decisiones de manejo adecuadas para cada estadio de la plantación (Figuras 6 a 9).

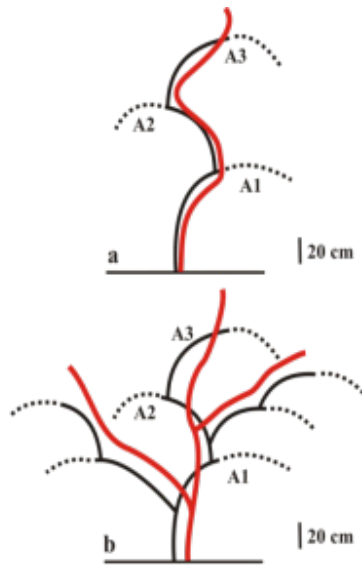


Figura 6. Estructura de ejemplares de 2 años de *Prosopis alba*. a. construcción simpodial del eje a partir de relevos; b. planta con más de un eje construido simpodialmente. Referencias: A1, eje principal; A2, ejes de primer orden; A3, ejes de segundo orden. En a. y en b. las líneas negras continuas representan la porción de brote que constituye el eje articulado; las líneas negras de puntos indican la porción del eje que se transforma en rama; las líneas rojas representan los ejes articulados.

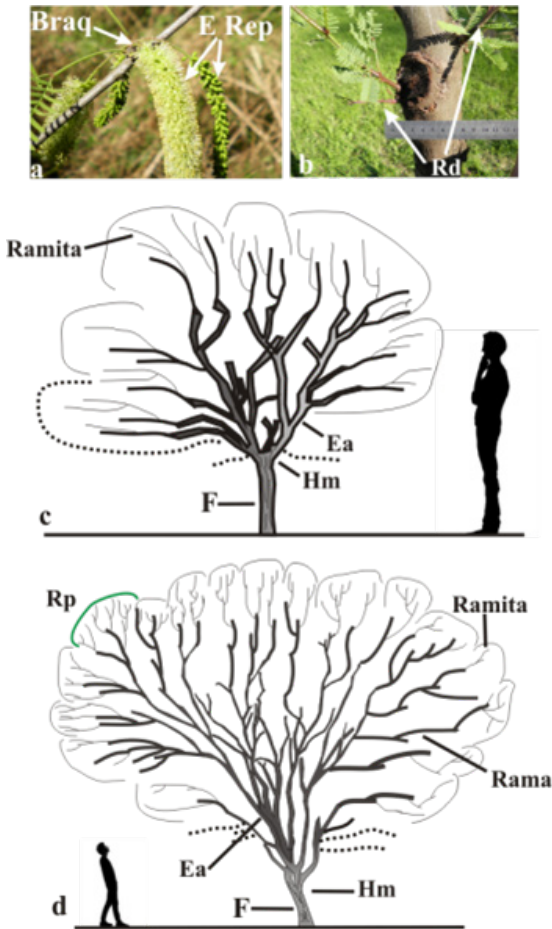


Figura 7. Árbol del presente en *Prosopis alba*. a. estructura reproductiva sobre braquiblasto; b. reiteración diferida a causa de poda; c. árbol en el inicio de la etapa adulta; d. árbol reiterado. Referencias: Braq, braquiblasto; Ea, eje articulado; ERep, estructura reproductiva; F, fuste; Hm, horquilla maestra; Rp, reiteración parcial. En c. y d. las líneas de puntos representan ramas muertas (o en senescencia) por sombreado.



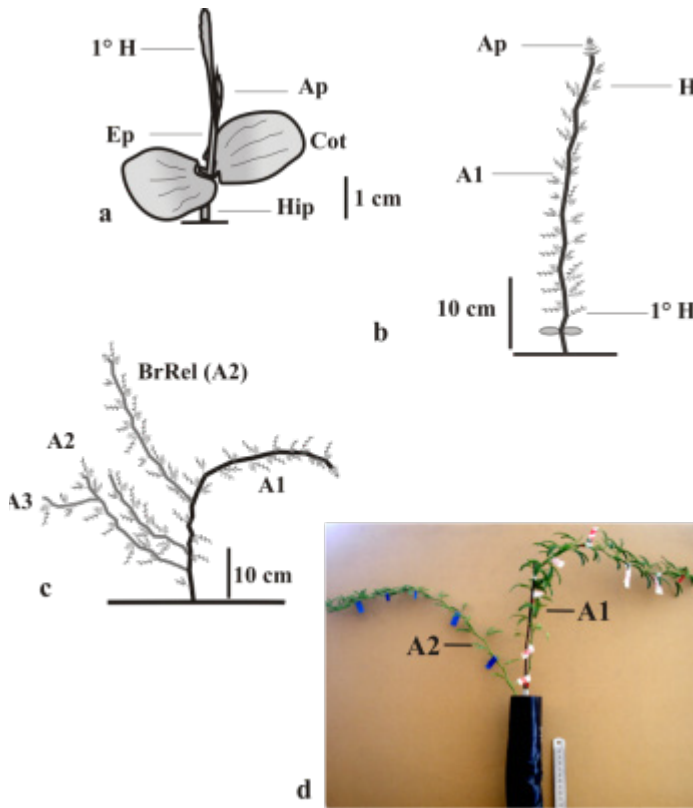


Figura 8. Primeros estadios de desarrollo de *Prosopis affinis*. A. plántula; b. construcción del eje principal a partir del meristema apical; c. ramificaciones en planta de un año; d. eje principal y brote de primer orden. Referencias: A1- A3, órdenes de ejes; Ap, ápice; Cot, cotiledones; Ep, epicótilo; H, hoja; Hip, hipocótilo;  $1^{\circ}$  H, primera hoja.

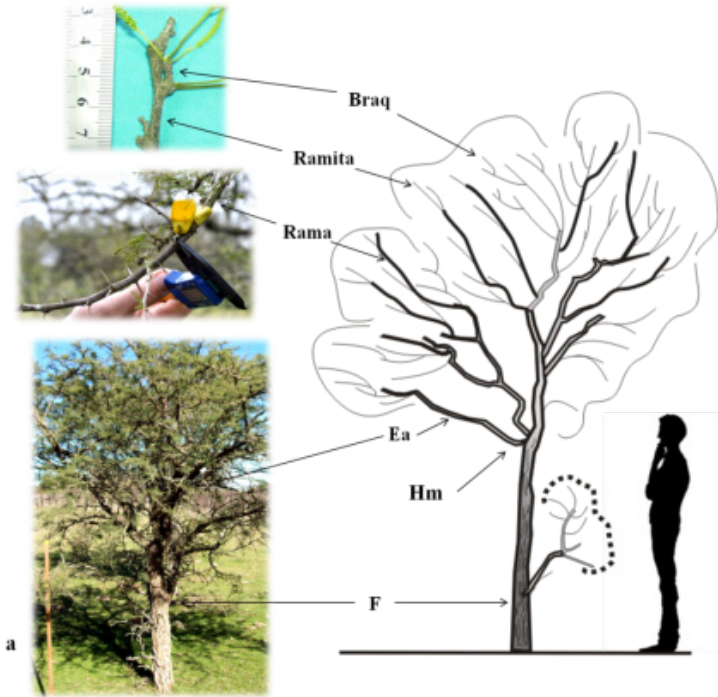


Figura 9. Inicio de la etapa adulta y unidad arquitectural en *Prosopis affinis*. a. árbol en inicio de etapa adulta con todas las categorías de ejes que componen la unidad arquitectural. Referencias: Braq, braquiblasto; Ea, eje articulado (rama maestra); F, fuste articulado; Hm, horquilla maestra. La línea de puntos representa a las ramas que se perderán en el futuro.

## Línea *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh.

### Introducción

El estudio se llevó a cabo en un ensayo de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., establecido en el campo de la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE) en la localidad de El Zanjón, departamento Capital (Figura 10). El ensayo está constituido por 13 procedencias Australianas, una africana y 2 testigos de semillas comerciales, con lo que se totalizan 104 familias de polinización abierta; se presenta un diseño experimental en bloques de familias compactas con 4 repeticiones, subparcelas lineales de 5 plantas y bordura perimetral simple (López, 2004).



Figura 910. Ubicación del ensayo de progenie de *Eucalyptus camaldulensis*.

### *Medición y determinación de rajaduras*

Una de las principales limitaciones técnicas que presenta este género, según Maree y Malan (Año, citado por Raymond *et al.*, 2004), son las grietas, rajaduras y alabeos que se producen en los rollizos y en las tablas luego de que el árbol es abatido y aserrado. Este defecto afecta principalmente el rendimiento de madera aserrada durante el proceso de transformación mecánica y es causado por la liberación de las tensiones de crecimiento.

### *Índice de Rajado*

Una forma de determinar las rajaduras es mediante el uso de índice de rajado, obtenido por la medición de las grietas producidas en las caras de los rollos. Esta determinación es más confiable que ... pero requiere de mayor tiempo empleado para la estimación, como así también del abatimiento del árbol. Una vez apeados los árboles, se obtuvieron 2 trozas de 2 metros de longitud a partir de 1,30 m de altura (DAP). Las caras de las trozas se cubrieron con bolsas plásticas para mantener la humedad natural y retardar el proceso de secado, retracción y colapso, de manera que las grietas producidas se deban en su mayoría a las tensiones, según la metodología propuesta por López y Genes (2005) y Trevisan *et al.* (2013). Esto se muestra en la Figura 11 A.

Las mediciones se realizaron sobre registro fotográfico de cada una de las caras de las trozas (inicial y final) a igual distancia de la cámara, tomadas en distintos tiempos y a la misma distancia en cada cara de los rollizos. La primera medición se registró en el momento de apeo del árbol ( Figura 11 B) y luego a las 48, 96 y 144 horas posteriores (Figura 11 C) La medición de estas longitudes de las grietas se efectuó con el software SIG

de uso libre denominado Kosmo - Sistema Abierto de Información Geográfica versión 2.0.1 sobre las fotografías que llevaban una escala (regla en cm) para poder hacer luego la transformación de unidades del software Kosmo a cm (Figura 11 D) Para la determinación del índice de rajado, se utilizó la fórmula propuesta por Lima (2000), que consiste en una relación entre la sumatoria de las áreas ocupadas por las rajaduras y el área total de la sección transversal que contiene a esas rajaduras.

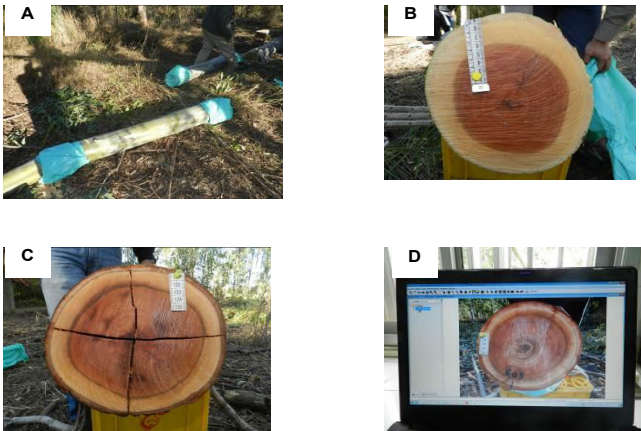


Figura 11 A. Cobertura de los extremos de las trozas con bolsas plásticas; B y C. Imágenes de cada cara al momento de apeo y 6 días después; D) Medición de rajaduras mediante software Kosmo.

### *Análisis de la Variación del índice de rajado entre trozas, ubicación y horas de medición*

Para el análisis del índice de rajado (IR), se obtuvieron los valores promedio de cada una de las trozas evaluadas a las diferentes horas de medición, se utilizaron modelos lineales generales mixtos —considerando la ubicación de las caras

(inicial o final), troza, horas de medición y la interacción entre ellos como factor fijo—, y se modeló la correlación existente entre las observaciones efectuadas en los mismos individuos con diferentes funciones. Para la selección de los mejores modelos, se utilizó el criterio de AIC (criterio de información de Akaike) que establece como mejor modelo aquel que produce menor valor de AIC. Los análisis realizados permitieron verificar que no existen diferencias estadísticas del IR entre ubicaciones ni entre trozas.

*El máximo valor se produjo a las 48 h de apeados los árboles, aunque sin diferenciarse significativamente ( $p < 0,05$ ) de los IR evaluados a las 96 y 144 horas, por lo tanto, sería suficiente efectuar las mediciones hasta los 2 días posteriores para evaluar el efecto de la intensidad de rajado.*

### *Anillos de Crecimiento*

En el manejo forestal es importante conocer o determinar la edad de los árboles, y así poder establecer ciclos de corta y el tiempo en el cual se renueva una masa forestal. A través del conteo y medición de los anillos anuales se puede determinar correctamente la velocidad de crecimiento de las especies arbóreas y dar pautas sobre sus posibles turnos de cortabilidad (Villalba, 1995). Existe una gran controversia en la existencia o no de límites o demarcación de los anillos de crecimiento de *Eucalyptus camaldulensis* (Figura 12).

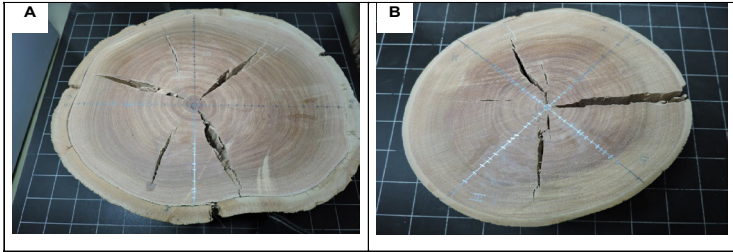


Figura 12. Medición de espesor de anillos:  
A) rodaja base; B) rodaja al 25%.

El borde del anillo es escasamente demarcado a nivel microscópico por una camada de fibras de 2 a 3 células de espesor de paredes más gruesas ligeramente aplastadas en dirección tangencial marcan el anillo (Moglia *et al.*, 2003). Macroscópicamente, los anillos se demarcan de forma variable con bordes oscuros, alternados con franjas más claras. La visualización de los límites difiere según la morfología de su estructura anatómica (Moglia *et al.*, 2010).

Se extrajeron secciones transversales de cada árbol a diferentes alturas (base, 25%, 50% y 75%) y se trataron según metodología de Stokes y Smiley (1968, citado por Moglia *et al.*, 2008) para la visualización de los anillos. La secuencia de lijado se siguió con granulometría (grano/cm<sup>2</sup>) ascendente de 40 a 500 (11 categorías de lijas entre grosor 40 y 500 para madera). Al provenir de una plantación, se conocía la edad de los árboles. Se trazaron 4 radios ortogonales sobre la superficie de las tortas a partir del centro de la médula. Sobre estos se marcaron los anillos de crecimiento siguiendo las indicaciones de Moglia *et al.* (2010). Para la etapa de medición de los espesores de anillos y longitud de radios, se utilizó el programa CORES, que genera un archivo exportable con los datos de espesores de anillos y longitud acumulada del radio en milímetros. A modo de ejemplo, se muestra la curva de los espesores de anillos de

uno de los ejemplares y la de radio de la rodaja a la altura de 25% basal.

*Determinación de variables macroscópicas color y proporción de albura y duramen*

En la determinación del color se realizó una clasificación visual a partir de la que se agruparon por rangos de acuerdo con la clasificación de colores para angiospermas realizada por Tortorelli (2009) con el Atlas Munsell (1968). El espesor de corteza se determinó como el promedio de las secciones transversales en 2 direcciones (este y oeste). Posteriormente, a las muestras se les determinó el color con espectrofotómetro.

Para calcular la proporción radial de albura-duramen se midieron 5 radios en diferentes direcciones con una precisión de 0,5 mm. Se midieron los radios promedios de duramen. El espesor de la albura se calculó para cada muestra como el radio total sin corteza menos el radio del duramen (Figura 13). También se trabajó con imágenes digitales y se calculó con un GIS la proporción de duramen en superficie.



Figura 13. Colores de duramen de las muestras de *Eucalyptus camaldulensis*.



Las muestras de los individuos estudiados poseen brillo medio y grano de oblicuo a entrecruzado. El vetado está bien definido, en sección tangencial en líneas verticales suaves, que se difuminan con la oxidación de la cara radial en arcos superpuestos medianamente marcados. En todos los casos, la textura es fina a media y heterogénea.

Se determinó que los colores de la albura varían entre blanco amarillento a blanco rosáceo. El color del duramen es diferente de acuerdo con el árbol considerado, varía entre castaño rosáceo y tonalidades pardas; la mayor frecuencia se ve en los colores castaños rosáceos o amarillentos. No se observaron alteraciones por hongos. La oxidación fue gradual e irregular en diferentes sectores. Los colores observados en los individuos estudiados fueron más claros que los citados en la literatura. La variabilidad en color se debe a la presencia de diferentes extractivos presentes en el duramen y, por lo tanto, cualquier factor que afecte su cantidad tendrá influencia en su color además del envejecimiento. La duraminización implica la muerte de células parenquimáticas y también cambios en las propiedades de la madera tales como permeabilidad, contenido de humedad, formación de tildes en las latifoliadas y modificaciones en la composición y proporción de compuestos accesorios.

#### *Estimación de la densidad Básica mediante pilodyn y resistógrafo*

El pilodyn es un instrumento de medición tipo "pistola" que posee un mecanismo de resorte que impacta en la madera una aguja de acero con una fuerza constante (Figura 14). La profundidad de penetración (dureza) es medida en milímetros y esta se asocia negativamente con la densidad.



Figura 14. Uso de pilodyn en *Eucalyptus camaldulensis*.

En cambio, el resistógrafo es un instrumento que mide la resistencia de la madera a la penetración de una broca o mecha perforadora de 3 mm de diámetro. Esta broca penetra en el árbol a una fuerza constante; esa resistencia es medida electrónicamente (amplitud) y almacenada por el equipo (Figura 15). Esta información se baja a una planilla de cálculo y se procesa con un software especial provisto por el fabricante denominado F- Tools Pro®.



Figura 15. Medición de resistencia en *Eucalyptus camaldulensis* con resistógrafo.

Los instrumentos pilodyn, extensómetro y resistógrafo utilizados en esta investigación fueron eficaces en la estimación en una primera aproximación de algunos parámetros de calidad de madera de un modo no destructivo. Si bien estos métodos proporcionan resultados bastante satisfactorios para mejorar la selección de individuos, su aplicación es todavía limitada y requiere mayor investigación.

El pilodyn explicó el 58% de la variabilidad total de la densidad básica, el resistógrafo entre 60 y 63% y el extensómetro explicaría el 61% de las rajaduras.

El resistógrafo es fácil de usar, rápido y confiable y discrimina e identifica de manera no destructiva árboles o conjuntos de individuos con baja, media o alta densidad.

El extensómetro resulta ser una herramienta confiable para agrupar clases o conjuntos de individuos de mayor o menor propensión a rajarse.

Es posible la determinación de las deformaciones residuales longitudinales (DRL) en una sola orientación cardinal, lo que produce menor daño a los individuos y disminuye los tiempos de medición.

La evaluación del índice de rajado individual refleja que sería suficiente realizar las mediciones tomadas en una troza y en una única cara a las 48 horas de apeado.

La proporción de duramen encontrada fue alrededor del 75% promedio en los ejemplares estudiados, y es aceptable y adecuada para la edad de los individuos para su uso como madera sólida.

Los resultados obtenidos en este proyecto indican que, de las procedencias evaluadas, A (Emu Creek, Petford, QLD); LL (Lennard River, WA) e I (Dunham River, WA) resultaron las mejores en cuanto a aptitud para uso sólido. Esto es en función del ranking elaborado con base en las propiedades físicas.

*Aptitud energética. Ensayos de poder calorífico*

Como ya se mencionó, la especie *Eucalyptus camaldulensis* en la provincia de Santiago del Estero demostró potencialidades para el cultivo de bosques (López, 2005). En el Instituto de Tecnología de la Madera de la FCF – UNSE se realizó la caracterización energética de estos materiales genéticos a través de las determinaciones del poder calorífico y de análisis próximo (humedad, volátiles y cenizas) de la madera de individuos seleccionados de plantaciones de 9 años.

El poder calorífico superior (en kcal/kg) es el cociente de la cantidad de calor liberado cuando se quema en forma completa un peso determinado (masa) de un combustible sólido (aserrín de madera) y el peso (masa) de esa cantidad de combustible a presión y temperatura constante, cuando en el estado final el agua (existente y formada) se encuentre después de la combustión en estado líquido. En la Figura 16 se observa el proceso de obtención de muestras para la determinación de estas variables.

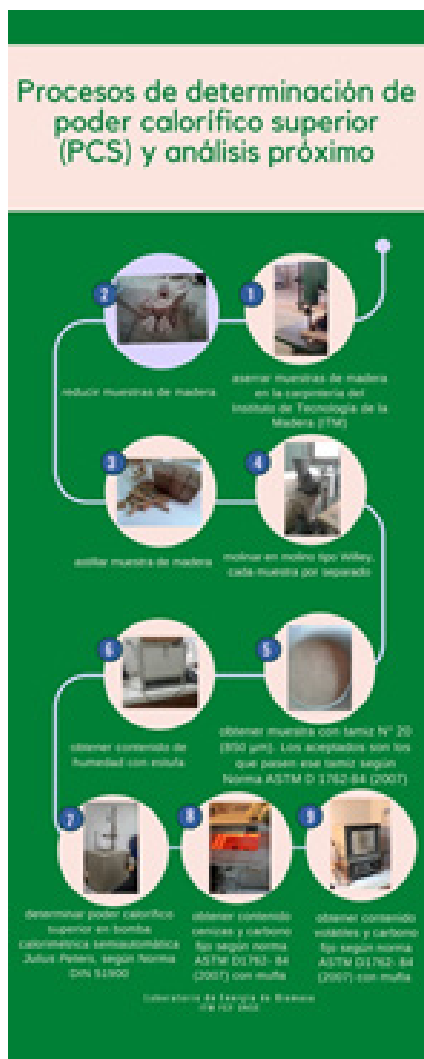


Figura 16. Procesos de determinación de propiedades energéticas (PCS, humedad, cenizas y volátiles) de madera según normas DIN 51900 y ASTM D1762 – 84 (2007).

## Resultados

Los valores promedios de las variables porcentaje de humedad, porcentaje de volátiles, porcentaje de cenizas de la muestra y capacidad calorífica se muestran en la Tabla 1.

Identificación	PCS kcal/kg	H %	V %	C %	CF %
B I - B 3 (3)	4836	2,9	68	1	28,1
B I - B 4 (4)	4799	5	68	2	25
B I - B 7 (1)	4820	8	73	1,2	17,8
B I - B 10 (1)	4754	1,68	62	1,3	35,02
B I - B 8 (3)	4713	2,2	76	1,3	20,5
B I - B 10 (4)	4795	4,2	77	0,5	18,3
B I - B 12 (1)	4841	1,78	75	1,1	22,12
B I - D 9 (2)	4813	3	71	2	24
B I - J 3 (5)	4805	4	73	4	19
B I - F 1 (3)	4973	6	70	1,6	22,4
B I - LL 9 (3)	4873	3,5	72	3	21,5
Promedio	4820	4	71	2	23

Tabla 1. Poder calorífico (PCS), Humedad (H), volátiles (V), cenizas de la muestra (C) y capacidad Calorífica (CF)

## Consideraciones finales

No se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los árboles estudiados. El valor promedio para el poder calorífico superior fue de 4.820 kcal/kg, lo cual constituye un valor aceptable para maderas duras, e indica que se trata de una madera con muy buenas características energéticas y de

aplicabilidad promisorio.

## Línea *Gonopterodendron sarmientoi* (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki

### *Productividad maderable*

*Gonopterodendron sarmientoi* (Lorentz ex Griseb.) A.C. Godoy-Bürki es una especie que tiene una madera con duramen de color verde pastel, verde a verdeazulado y de albura blanca amarillenta; la demarcación entre ambas zonas es de contorno asimétrico e irregular (Giménez *et al.*, 2013). La relación albura/duramen es relevante en el aprovechamiento industrial (Marchand, 1984; Long y Smith, 1987; Hazenberg y Yang, 1991; Giménez y Moglia, 2003; Moglia *et al.*, 2011). Esta relación se obtuvo teniendo en cuenta el porcentaje de anillos que presentaban ambas zonas del xilema en función de la edad.

### *Metodología*

El estudio se realizó en Rivadavia (Salta), Las Hacheras (Chaco) y en Ingeniero Guillermo N. Juárez y Las Lomitas (ambas en Formosa), ubicadas en dos puntos estratégicos, ya que Ingeniero Juárez pertenece al óptimo ecológico (mayor frecuencia) descrito por Morello y Adamoli (1974) y Las Lomitas está caracterizada por una distribución continua de la especie.

Se seleccionaron 5 muestras por sitio, teniendo en cuenta que el rango de edad sea el mismo o más próximo posible para poder realizar una comparación entre los sitios.

Las muestras se cortaron a 0,30 m de altura, luego se cepillaron y lijaron con una lijadora de banda utilizando una granu-

lometría de 80 a 1200, hasta lograr obtener una superficie lisa (Figura 17). Con los anillos visibles se procedió con el conteo de anillos en la albura y el duramen de cada individuo, al diámetro a altura de base (DAB) (Chifarelli, 2021).

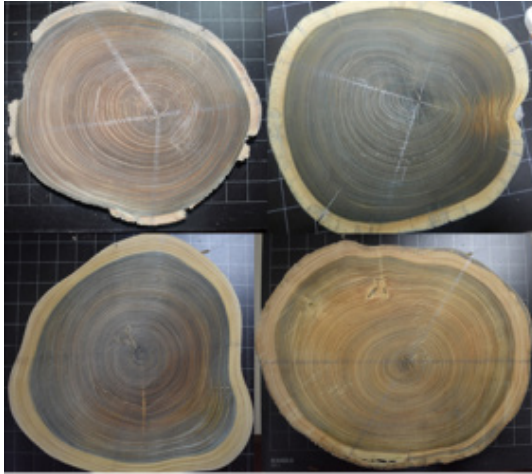


Figura 17. Sección transversal del leño de *Gonopterodendron sarmientoi*, diferenciación albura (zona más clara) y duramen (sector más oscuro del xilema).

### *Resultados y discusión*

La proporción de anillos en función del diámetro del fuste fue mayor en las localidades de Rivadavia (Salta) seguida de Las Hacheras (Chaco), Las Lomitas (Formosa) e Ing. Guillermo Juárez (Formosa) (Figura 18). La proporción de anillos en la albura en función del diámetro se observa en la Figura 19.



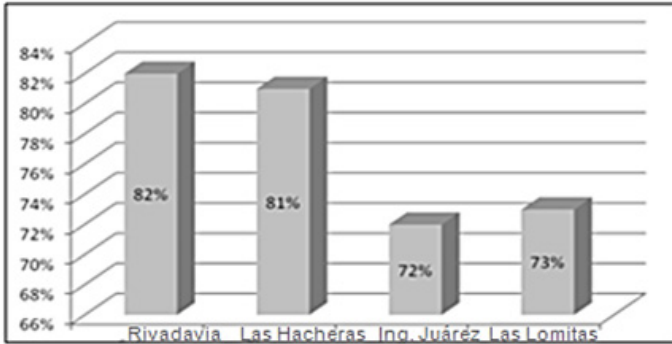


Figura 18. Número de anillo (%) en el duramen de *Gonopterodendron sarmientoii* de los sitios relevados: Rivadavia, Ingeniero Juárez, las Lomitas y Las Hacheras (Chifarelli, 2021).

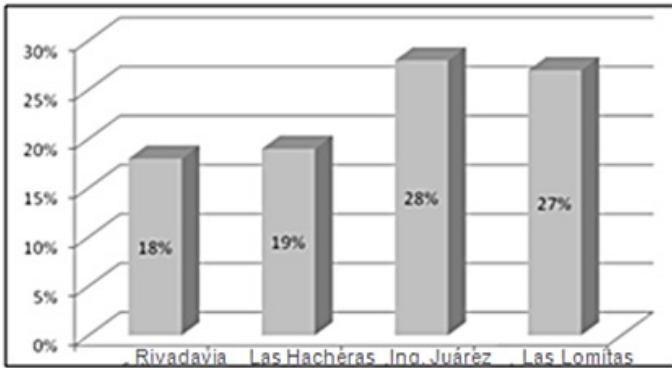


Figura 19. Número de anillo (%) en la albura de *Gonopterodendron sarmientoii* de los sitios relevados: Rivadavia, Ingeniero Juárez, las Lomitas y Las Hacheras (Chifarelli, 2021).

El promedio de anillos de crecimiento en la albura en DAB es 12 anillos (7-16); Giménez *et al.* (2007) determinaron en esta especie un promedio de 8 anillos en la albura (7-14).

Los sitios con individuos de mayor porcentaje de albura pertenecen a la provincia de Formosa (Las Lomitas e Ingeniero

Juárez), aunque no son aquellos de mayor precipitación (con isohietas de mayor valor) dado que Las Lomitas se encuentra entre las isohietas de 700 a 800 mm e Ingeniero G. Juárez entre las isohietas de 700 a 600 mm; en cambio, los de menor porcentaje de albura (mayor porcentaje de duramen) se encuentran en la localidad de Rivadavia, una zona más seca (isohieta de 550 mm) y en Las Hacheras que, a pesar de que coincide con el rango de precipitaciones anuales de Las Lomitas, presenta mayor porcentaje de duramen. Es por ello que las localidades de Rivadavia y Las Hacheras serán las más valoradas desde el punto de vista industrial, ya que el duramen, al ser un tejido compacto y pobre en sustancias nutritivas, es resistente al ataque de hongos e insectos y presenta mayor durabilidad natural (Giménez *et al.*, 2005).

La localidad de Ing. G. Juárez (Formosa), a pesar de contar con individuos de mayor edad, presentó un mayor número de anillos en la albura; esto podría deberse a aprovechamientos forestales en épocas pasadas, lo cual pudo corroborarse mediante la presencia de antiguos tocones. Con respecto al incremento del espesor del anillo, fue el sitio de menor incremento.

La localidad de Las Lomitas (Formosa), si bien es uno de los lugares de mayor crecimiento, presenta un mayor porcentaje de albura. La intersección de IMA e ICA se da a una mayor edad, en donde el individuo logra obtener mayor porcentaje de duramen.

A partir de estos estudios, se pueden determinar cuáles son las zonas óptimas maderables (según relación albura/duramen y de mejor crecimiento). También, gracias a estudios realizados por Chifarelli *et al.* (2017), se pudo determinar el origen de las muestras a partir del análisis de componentes principales (PCA), con la técnica de NIR; con esto toma validez la premisa de que la especie que crece en Salta presentó un comportamiento diferente con respecto a las de las otras localidades estudiadas, según su composición morfológica, química, física

y mecánica de materiales lignocelulósicos. La combinación de estos estudios será un aporte para un mejor entendimiento del comportamiento de la especie y, en consecuencia, servirá para la determinación del tipo de manejo a realizar según la zona.

En la Tabla 2 se aprecia el espesor de anillo medio por sitio y se observa que existen diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los mismos.

Sitio	Espesor de los anillos (mm)	n	E.E	
Ing. Juárez, Formosa	2,19	300	0,07	A
Rivadavia, Salta	2,68	399	0,06	B
Las hacheras, Chaco	3,08	404	0,06	C
Las Lomitas, Formosa	3,41	942	0,04	D

Tabla 2. Espesor de los anillos (mm) de *Gonopterodendron sarmientoi* para cada uno de los sitios de estudio, según el test de Tukey ( $p > 0,05$ )

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

La ecuación general de mejor ajuste de la regresión lineal para la edad y el número de anillos de albura y duramen se consigna en la Tabla 3.

Variable	R <sup>2</sup>	Ecuación mejor ajuste
Anillos de la albura	0,22	+21,96 -0,17*Edad +
Anillos del duramen	0,93	-22,44 + 1,18 *Edad +

Tabla 3. Ecuaciones de regresión lineal del número de anillos en albura y duramen de *Gonopterodendron sarmientoi* para  $n = 20$

### Conclusiones

La localidad de Las Hacheras (Chaco) es el mejor sitio en cuanto a crecimiento y producción maderable de *Gonopteroden-*

*dron sarmiento* según los estudios.

El crecimiento de la especie está influenciado por las precipitaciones, aunque no hay relación directa con la productividad maderable; los lugares con mayor cantidad de duramen se encuentran en diferentes isohietas (Las Hacheras y Rivadavia).

Es probable que el tipo de suelo influya en los resultados obtenidos, lo que permitiría explicar las diferencias observadas.

## Bibliografía

- Bender, Adrián (2016). Variabilidad de los patrones estructurales en algarrobo Blanco (*Prosopis alba* Grisebach) y *Ñandubay* (*Prosopis affinis* Sprengel) y su influencia sobre las magnitudes dendrométricas. Tesis de doctorado. Biblioteca virtual Universidad Nacional del Litoral. <https://biblioteca-virtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/855>
- Chifarelli, V.; A. M. Giménez; S. Nisgoski y J. G. Moglia (2017). "Aplicación de la técnica de NIRS (espectroscopia de infrarrojo cercano) en la discriminación de la madera de *Bulnesia sarmientoi*". En *Los Bosques actuales del Chaco semiárido argentino. ECOANATOMÍA Y BIODIVERSIDAD. Una mirada propositiva*(pp. ). Programa de internalización de la educación superior y cooperación internacional CAPES-SPU.
- Chifarelli, V. (2021). *Determinación de crecimiento radial y procedencia de Gonopterodendron sarmientoi Lorentz ex Griseb. (Bulnesia Sarmientoi) en su gradiente de distribución hídrico en Argentina*. Tesis Doctoral [en revisión]. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. Giménez, AM; P. Hernández; R. Gerez (2007). "Wood anatomy and growth rings of palo santo (*Gonopterodendron sarmientoi* Lorenz ex Griseb, *Zygophyllaceae*) and *C. Spagarino*". *Revista Quebracho*. (14), pp. 23-37. Giménez, A. M., Moglia, JG, P. Hernández; R. Gerez (2005). *Anatomía de la Madera*. Segunda edición. Santiago del Estero: Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Santiago del Estero. ISBN 978-987-1676-08-8
- Giménez A.M., Ríos N. A. y Moglia J. G. (2003). "Crecimiento de *Prosopis nigra* (Griseb.) Hieron (algarrobo negro) en Santiago del Estero, Argentina". *Foresta Veracruzana*. 5(2), pp. 17-22.
- Giménez, A. M.; Ríos, N.; J. G. Moglia (2000). "Relación alburaduramen en tres especies arbóreas de la Región Chaqueña Seca". *Revista Quebracho*. (8), pp. 56-63.
- Hazenber, G. y K, Yang (1991). "Sapwood/ Heartwood width

- relationships with tree age in Balsam – fir". *IAWA Bull. n.s.* 12(1), pp. 95- 98.
- Image-Pro-Plus. Version 4.5.0.19 for Windows 98 / NT / windows. Software for manipulation, treatment and analysis of images.
- Long, J. y F. Smith, F. (1987). "Leaf-area sapwood area relations of lodgepole pine as influenced by stand density and site index". *Can. J. For. Res.* (18), pp. 247-250.
- López, C. (2005). "Estrategia de mejoramiento de *Eucalyptus camaldulensis* en el NO argentino". 3er Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano Corrientes.
- Moglia, J.; Bravo, S.; Gerez, R. (2008). "Anatomía comparada del leño de dos orígenes selectos de *Eucalyptus camaldulensis* Denhn ensayados en de Santiago del Estero, Región Chaqueña Argentina". *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*. ISSN 0373-580X
- Moglia, J.; Giménez, A. M.; González, D. y R. Gerez (2010). "Caracterización de los anillos de crecimiento y relación con la densidad básica de la madera en *Eucalyptus camaldulensis* cultivados en Santiago del Estero". *Revista Quebracho*. 18 (1, 2), pp. 47-57.
- Moglia, J.; Venturini, M.; Giménez, A.; López, C. (2011). "Caracterización del duramen en individuos selectos de progenies de *Eucalyptus camaldulensis* Denhn en Santiago del Estero, Argentina". *Boletín del CIDEU*. (10), pp. 107-117.
- Morello, J; Adámoli, J. (1974). *The great units of vegetation and environment of the Argentine Chaco. Second part: Vegetation and environment of the province of Chaco*. Buenos Aires: Centro de Investigaciones de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
- Normas DIN 51900. Pruebas en combustibles sólidos y líquidos. Determinación del poder calorífico superior mediante bomba calorimétrica y cálculo del poder calorífico inferior. Parte 1: principios, aparatos, métodos. DIN 51900-1. *Deutsches Institut für Normung*.
- Norma ASTM D 1762-84 (2007). Standard method for chemical

analyses of wood charcoal. *American Society For Testing Materials* - ASTM. Philadelphia: ASTM International.

## DESARROLLOS INFORMÁTICOS PARA GRUPOS DE APRENDIZAJE EN CONTEXTOS DE COLABORACIÓN ON-LINE

ROSANNA COSTAGUTA<sup>1</sup>; MARÍA DE LOS ÁNGELES MENINI<sup>2</sup>;  
DANIELA MISSIO<sup>3</sup>; GERMÁN LESCOANO<sup>4</sup>; PABLO SANTANA-MANSILLA<sup>5</sup>

### Resumen

Ante la necesidad de desarrollar mecanismos que tiendan a beneficiar los procesos de enseñanza y de aprendizaje en contextos de trabajo grupal mediados por tecnologías, en este capítulo se presentan cuatro desarrollos informáticos creados para mejorar el comportamiento de estudiantes y docentes en

1 Directora del proyecto "Mejorando escenarios de aprendizaje colaborativo soportado por computadora". Doctora en Ciencias de la Computación. FCEyT - UNSE

2 Codirectora del proyecto "Mejorando escenarios de aprendizaje colaborativo soportado por computadora". Máster en Ingeniería de Software. FCEyT - UNSE

3 Especialista en Orientación Vocacional y Educativa. FCEyT - UNSE

4 Tesista doctoral CONICET. Licenciado en Sistemas de Información. FCEyT - UNSE

5 Tesista doctoral CONICET. Licenciado en Sistemas de Información. FCEyT - UNSE



los escenarios antes mencionados. Para cada uno de estos desarrollos se define la problemática que lo originó, se describen las funcionalidades que posee, se enuncian algunos aspectos metodológicos y se brindan datos relacionados con la validación experimental efectuada con estudiantes universitarios reales. Para finalizar, en cada caso, se establecen algunas líneas de trabajo futuro a corto y mediano plazo.

Palabras clave: aprendizaje colaborativo soportado por computadora; habilidades de colaboración; búsquedas colaborativas; conflictos grupales; formación de grupos de estudiantes

## **Abstract**

Given the need to develop mechanisms that tend to benefit teaching and learning processes in contexts of group work mediated by technologies, this chapter presents four tools created to improve the behavior of students and teachers. For each tool were described: the problem that solves, its functionalities, some methodological aspects, and information related to the experimental validation carried out with real university students. Finally, several lines of future work are established.

Keywords: computer supported collaborative learning; collaborative skills; group conflicts; group formation; collaborative searches

## Introducción

El Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora (ACSC), contexto en el que se ejecuta el proyecto de investigación SECYT UNSE 23/C138 titulado "Mejorando Escenarios de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora", se asienta sobre el tipo de aprendizaje conocido como Aprendizaje Colaborativo (AC). Por esto, es necesario demarcar el posicionamiento que asumen los autores del presente capítulo respecto a conceptos clave del AC y, en consecuencia, poder mantener el eje conceptual y el horizonte de producción investigativo.

El equipo de investigadores que integra este proyecto postula al AC como un aprendizaje particular, que tiene características, propuestas y desarrollos que le son propios, lo que permite valorar sus aportes como actividad ampliamente conocida en el contexto de situaciones de enseñanza y de aprendizaje. Es importante resaltar que desde esta investigación se entiende que el AC es un elemento y hasta una dimensión pedagógico-didáctica, que supera la mera instrumentalidad del trabajo en grupo, es decir, aunque es ampliamente conocida su potencialidad y su uso como técnica de trabajo grupal, es fundamental aquí reconocerlo en su concepción más amplia y no solo como una técnica de trabajo para el aula.

En el AC, las situaciones de aprendizaje que se producen son particulares y significativas, ya que posibilitan un proceso social de construcción del conocimiento que requiere de interacciones (Salinas, 2000), acuerdos, construcción de consensos (Panitz y Panitz, 1998), comunicación y negociaciones (Gros, 2000) entre todos los integrantes de un grupo, lo que les permitirá llegar a un nivel de comprensión más alto (Edwards y Mercer, 1987) que aquel que poseían antes de participar en las actividades colaborativas.

Dillenbourg (1999) sostiene que el AC describe una situa-

ción que se da en un grupo, en la que se espera que ocurran ciertas formas de interacción entre sus integrantes que promuevan mecanismos de aprendizaje, pero sin garantías de que tales interacciones realmente se produzcan. Sin duda, la colaboración promueve el aprendizaje (Dillenbourg, 1999; Stahl, Koschmann y Suthers, 2006) y eso ocurre cuando los estudiantes elaboran explicaciones, comparaciones y síntesis, y son capaces de conectar diferentes ideas a través de sus interacciones (Soller, 2001; Stahl *et al.*, 2006). Un aspecto muy importante en el AC es que dichas interacciones son negociables (Dillenbourg, 1999). Un estudiante no puede imponer su punto de vista, debe argumentar, justificar y negociar para convencer al resto de sus compañeros de que su postura es la correcta. Así, la premisa subyacente en el AC es la construcción de consenso a través del diálogo entre los miembros del grupo.

Dadas las concepciones anteriormente mencionadas, es posible distinguir el AC de otro tipo de aprendizaje grupal con el que algunas veces se lo suele confundir, el aprendizaje cooperativo. Ambos presentan no solo diferenciaciones en sus fundamentos teóricos (Zañartu Correa, 2003), sino también en sus características esenciales.

Johnson, Johnson y Johnson Holubec (1999) plantean el aprendizaje cooperativo como el trabajo conjunto de un grupo de personas que distribuye la realización de las tareas para concretar una meta; sin embargo, es menester señalar que tal distribución no involucra *per se* una verdadera colaboración e implicación en el trabajo grupal, cuestión esta que sí es esencial en el AC, ya que requiere, de los estudiantes, interacción y acuerdos para el logro de una meta.

Bruffee (1999) reconoce que entre el aprendizaje cooperativo y el AC existe una linealidad en la que se daría primero el aprendizaje cooperativo y luego, cuando el grupo está más afianzado, se abriría el espacio del AC. No obstante, los autores del presente capítulo no concuerdan con este plan-

teo, por considerar que se trata de una concepción diferente y hasta disruptiva, ya que ambos tipos de aprendizaje grupal no tienen los mismos objetivos ni la misma concreción. Pensar en aprendizaje cooperativo es pensar en tareas, organización y planificación indicadas y estructuradas por un docente (Zañartu Correa, 2003) y, por lo tanto, hay una dependencia en el trabajo parcializado de los compañeros.

En el AC la situación es diferente, pues se requiere de una interacción necesaria y verdadera para que el aprendizaje se produzca; esta interacción, como ya se explicó, no solo demanda acuerdos y negociaciones entre distintos puntos de vista, sino también un tiempo necesario para el trabajo grupal y, especialmente, una organización interna en el grupo para el logro de los objetivos. Se necesita, además, el cambio de función del tutor y/o docente, donde este pasa de ser conductor de la tarea a ser un asesor, que está disponible para atender las dudas, pero que espera que sea el mismo grupo el que se organice para realizar su propia labor, aunque esto no siempre signifique o garantice el logro del resultado esperado.

Cuando las situaciones anteriormente desarrolladas en AC implican, además, el uso de medios computacionales, entonces se habla de Aprendizaje Colaborativo Soportado por Computadora (ACSC) o *Computer Supported Collaborative Learning* (CSCL), que comparte las características esenciales del AC, pero adiciona el beneficio de la incorporación de un soporte tecnológico particularmente útil para este tipo de aprendizaje, gracias al cual los participantes pueden contribuir al grupo desde cualquier lugar y en cualquier momento.

Las experiencias de ACSC apuntan, entonces, a entender el aprendizaje como un proceso social de construcción de conocimiento colaborativo en el que la computadora actúa como un mediador (Zañartu Correa, 2003) que permite la potencia de trabajar con otros, debatir, dialogar y disponer de estrategias de colaboración productivas y efectivas. El ACSC posibi-

lita pasar de la elaboración individual y/o cooperativa guiada y dividida, a una forma de trabajar y producir entre todos, con una verdadera participación, implicancia, intercambio y negociación de los integrantes del grupo, esto es, un trabajo grupal significativo y genuino.

A pesar de lo expuesto en los párrafos previos, crear grupos e indicar a sus miembros que resuelvan consignas de manera colaborativa no garantiza que la experiencia de enseñanza y de aprendizaje sea exitosa. En el ACSC resulta fundamental poner especial atención sobre aspectos tales como la conformación de los grupos, el comportamiento individual de los integrantes, la consideración del desempeño del grupo como un todo y las tareas que se asignan para ser realizadas de manera colaborativa.

Por lo expuesto, en este capítulo se presentan desarrollos de aplicaciones que promuevan mejoras en las conductas de los actores involucrados, beneficiando así a los procesos de enseñanza y de aprendizaje, y propiciando el éxito de las experiencias de colaboración.

Cabe destacar que las aplicaciones mencionadas están siendo integradas en una misma plataforma educativa colaborativa que desarrolla el equipo de investigación citado al comienzo de esta sección. De esta manera, la plataforma contará con las siguientes funcionalidades: análisis automático de interacciones considerando habilidades de colaboración manifestadas por los estudiantes; cálculo de indicadores de comportamiento individuales y grupales; formación automática de grupos teniendo en cuenta determinadas características de los estudiantes; reconocimiento automático de los problemas que se manifiestan durante la dinámica de colaboración de los grupos y, por último, soporte de búsquedas colaborativas a través de un metabuscador adaptado al comportamiento de cada grupo de estudiantes. Contar con una plataforma educativa de estas características permitirá fortalecer el proceso de colabo-

ración de los estudiantes y facilitar la gestión de la colaboración por parte de los docentes, lo que promoverá una mejora en el desempeño de los actores involucrados.

El capítulo se organiza como sigue. En la próxima sección se presenta una herramienta de comunicación síncrona que registra las interacciones de los estudiantes de cada grupo, reconoce en ellas las manifestaciones de diferentes tipos de habilidades de colaboración, computa indicadores individuales y grupales, y los deja disponibles para consulta de los usuarios a fin de favorecer procesos de toma de decisión. En la sección 3 se describe una aplicación que conforma automáticamente grupos de aprendizaje colaborativo. Estos grupos son definidos por un algoritmo genético que considera las mejores formas de combinar los estilos de aprendizaje de todos los estudiantes existentes en el curso. En la sección 4 se presenta un metabuscador creado especialmente para ser usado por grupos de estudiantes que requieren material de la web para efectuar sus trabajos. El metabuscador hace eficiente el gasto de tiempo y esfuerzo al permitir que los integrantes tengan conocimiento de los artículos accedidos por sus compañeros de grupo y la valoración que ellos hicieron de sus contenidos. En la sección 5 se introduce una herramienta que permite monitorear el comportamiento de grupos y detectar automáticamente ciertos conflictos grupales. La herramienta notifica al docente cuando estas situaciones se producen, propiciando su oportuna y adecuada intervención. Finalmente, en la sección 6 se enuncian algunas conclusiones y se explicitan áreas en las que se espera incursionar en años venideros dando continuidad al proyecto de investigación.

## Detección de habilidades de colaboración y cálculo de indicadores en Moodle

Existen diversos factores que influyen en el correcto desarrollo de las experiencias colaborativas, y uno de esos factores es la adecuada manifestación de habilidades de colaboración por parte de los estudiantes que integran los grupos. Mientras algunos investigadores sostienen que no todos los participantes de experiencias colaborativas cuentan con las habilidades de colaboración requeridas para colaborar con eficacia (Persico, Pozzi y Sarti, 2010; Aiken, Bessagnet e Israel, 2005), otros afirman que esas habilidades se pueden aprender y que los estudiantes necesitan práctica, apoyo y orientación para lograrlo (Soller, 2001). En este contexto, los entornos de ACSC pueden desempeñar un papel importante, ya que permiten, no solo la comunicación durante las sesiones de colaboración, sino también el registro de las interacciones de los participantes y el cálculo de indicadores. Pese a que los entornos de ACSC generan indicadores relacionados con la dinámica de grupo, en la actualidad ninguno brinda información vinculada específicamente con la manifestación de las habilidades de colaboración de los estudiantes.

El análisis de interacciones es un reto en los escenarios presenciales de AC y también lo es en escenarios de ACSC. Cuando la colaboración es intensa, es decir, cuando genera un número grande de interacciones, sea AC o ACSC, hacer un seguimiento manual se torna complicado (Daradoumis, Martínez Monés y Xhafa, 2006; Dönmez, Rosé, Stegmann, Weinberger y Fischer, 2005; Chen y Wasson, 2002). Obviamente, realizar el análisis de interacciones de manera automática facilita el procesamiento de esos grandes volúmenes de datos producidos durante la colaboración, lo cual resultaría ventajoso para el ACSC. No obstante, el análisis automático también representa un gran desafío. Soller (2001) afirma que las últimas tecnologías

de comprensión del lenguaje natural aplicadas en entornos de ACSC siguen siendo limitadas en su capacidad de comprender e interpretar correctamente la comunicación de las personas.

Para dar solución a esta problemática, se creó un módulo software de comunicación y colaboración, capaz de recopilar y analizar automáticamente las interacciones conversacionales síncronas de los estudiantes y, al mismo tiempo, calcular indicadores a nivel individual y grupal que muestren el nivel de manifestación de las habilidades de colaboración de los estudiantes en sus diálogos. El módulo fue implementado sobre la plataforma Moodle, disponible como una nueva interfaz de chat.

Poseer habilidades de colaboración como integrante de un grupo de aprendizaje significa ser capaz de manifestar comportamientos que contribuyan a que los integrantes puedan trabajar juntos y funcionar de la mejor manera posible mientras desarrollan las tareas. Representa, por ejemplo, tener destrezas para preguntar, responder y motivar a los demás miembros del grupo, esto como resultado de prácticas de mediación en las conversaciones y control de los conflictos de opiniones que pueden originarse (Costaguta, 2008).

Soller (2001) identificó tres habilidades de colaboración que los estudiantes pueden poner en juego durante la dinámica de trabajo en grupo, a saber: conflicto creativo, aprendizaje activo y conversación. Para cada habilidad definió subhabilidades y a su vez para cada una de estas, atributos que las describen. La clasificación fue definida desde la red de habilidades colaborativas, ideada por McManus y Aiken (1996), que se basa en la investigación de Johnson *et al.* (1984). Tanto las habilidades, como las subhabilidades y sus atributos pueden verse en Tabla 1; allí también se muestran los patrones de comunicación más comúnmente asociados con cada atributo de colaboración, extraídos de un trabajo realizado por Costaguta (2008).



Habilidad	Subhabilidad	Atributo	Patrones de Comunicación
Conflicto Creativo	Mediación	Mediación docente	"Preguntemos al profesor"
	Argumentación	Conciliar	"Todas las posturas son válidas"
		Concertar	"A mí me parece bien"
		Discrepar	"Estoy en desacuerdo"
		Ofrecer alternativa	"Alternativamente...", "En su lugar ..."
		Inferir	"Entonces...", "Por lo tanto ..."
		Suponer	"Supongamos que"
		Proponer excepciones	"Pero podría ocurrir que..."
Dudar	"No estoy seguro"		
Aprendizaje Activo	Motivar	Animar	"Vamos por buen camino"
		Reforzar	"Esto va bien, sigamos"
		Parafrasear	"En otras palabras..."
		Guiar	"Intentemos", "Ahora hagamos"
		Sugerir	"Yo pienso que..."
	Informar	Elaborar	"Hay que hacer lo siguiente..."
		Explicar	"Yo lo explicaría así...", "Si, fijate que..."
		Justificar	"Yo creo que sí porque ..."
		Afirmar	"Yo lo dejaría así"
		Información	"¿Qué falta considerar?", "¿Qué ponemos?"
	Requerir	Elaboración	"¿Qué hacemos ahora?", "¿Cómo seguimos?"
		Clarificación	"Por favor, explíquenme"
		Justificación	"¿Por qué?"
		Opinión	"¿Se puede?", "¿Y si...?"
	Ilustración	"Por favor, muéstrenme"	

Conversación	Reconocimiento	Apreciación	"Gracias, amigos"
		Aceptación/ Confirmación	"Sí, estoy de acuerdo", "OK", "De acuerdo"
		Rechazo	"No", "Tampoco", "Imposible"
	Mantenimiento	Sugerir acción	"Yo creo que debemos intentar"
		Requerir confirmación	"¿Están de acuerdo?", "¿Entienden ahora?"
		Atender	"Te explico"
		Disculparse	"Disculpenme"
	Tarea	Coordinar procesos grupales	"Continuemos"
		Requerir cambio de enfoque	"En vez de ... probemos"
		Resumir información	"Resumiendo..."
Finalizar participación		"¡Hasta la próxima!"	

Tabla 1. Habilidades, subhabilidades, atributos de colaboración y patrones de comunicación (Fuente: Costaguta, 2008)

Moodle es una plataforma educativa diseñada para proporcionar a docentes, administradores y estudiantes un sistema integrado único, robusto y seguro que proporcione un ambiente de aprendizaje (MoodleDocs, 2016). Su diseño arquitectónico se basa en una arquitectura de tres capas (capa de presentación, capa de negocio y capa de datos). Entre sus características, la más relevante es que cuenta con un diseño modular que brinda flexibilidad para agregar y suprimir funcionalidades en muchos niveles. Esta característica fue fundamental para crear el nuevo módulo de chat que captura y analiza las interacciones de los estudiantes y luego genera indicadores de colaboración a nivel individual y grupal. A partir de la filosofía de Moodle, el desarrollo del nuevo módulo se efectuó siguiendo una metodología orientada a objetos, para el caso, el Proceso Unificado Ágil (Ambler, 2005).

Para el nuevo chat de Moodle se diseñó especialmente una interfaz gráfica de usuario, de tipo semiestructurada, esto es, basada en oraciones de apertura y texto libre. Una oración

de apertura es una frase predefinida que se emplea para comenzar una contribución en un diálogo (Lazonder, Wilhelmand y Ootes, 2003; Jermann y Schneider, 1997). Con este tipo de representación, el usuario debe elegir, desde una lista de frases (oraciones de apertura) aquella que mejor represente la intención de su colaboración, para luego completar su contribución introduciendo texto libre. Se tomó como base la clasificación de habilidades colaborativas propuesta por Soller (2001) descrita en la Tabla 1, en la que se visualiza además la correspondencia de cada atributo con un patrón de colaboración (Costaguta, 2008). Tales patrones fueron usados para definir las oraciones de apertura disponibles en la interfaz. Así, el estudiante elige una de estas oraciones para iniciar su contribución al diálogo, y a partir de estas elecciones es posible reconocer de manera automática las habilidades de colaboración que manifiesta. Los patrones adoptados fueron utilizados con éxito por Costaguta, García y Amandi (2011) en un sistema creado para entrenar a los estudiantes en la manifestación de sus habilidades de colaboración.

En particular, la interfaz gráfica de este nuevo chat para Moodle se implementó en forma de menú con botones específicos para cada oración de apertura, con la opción de completar la contribución en un área de texto libre. Para que los estudiantes visualicen con facilidad las distintas oraciones de apertura, se decidió agruparlas en listas desplegables según la subhabilidad de colaboración de que se trate. En la Figura 1, el cuadro en rojo con el número 2 señala las 8 categorías de subhabilidad existentes. En el cuadro rojo con el número 3 en la misma figura, puede apreciarse la lista desplegada correspondiente a la subhabilidad "Informar". Una vez elegida una oración de apertura, desde cualesquiera de las listas, el estudiante puede completar el sentido de su contribución con texto libre que introduce a continuación de esa oración de apertura. El diálogo que se va construyendo mediante las contribuciones de los

integrantes del grupo queda visible durante toda la experiencia en el recuadro superior izquierdo de la ventana del chat, como se observa en la Figura 1, en el cuadro en rojo con el número 1. En este último sector de la figura, también puede constatar-se que cada estudiante está identificado por su nombre de usuario y que su contribución está compuesta por la oración de apertura seleccionada (letra en negrita luego del nombre de usuario) y el texto libre que haya introducido. Los estudiantes del grupo disponen allí de una barra de desplazamiento que les permite recorrer el diálogo desde las primeras contribuciones a las últimas, o viceversa. Cabe acotar que cuando un integrante del grupo está conectado, su nombre aparece en color azul en el lado derecho, sino lo hace en color negro.

La experimentación para validar el correcto funcionamiento del chat creado se realizó con estudiantes reales de carreras de Informática de la Facultad de Ciencias Exactas y Tecnologías (FCEyT), perteneciente a la Universidad Nacional de Santiago del Estero (UNSE). En todos los casos, el encargado de conformar los grupos de trabajo y de diseñar y asignar las consignas a desarrollar por parte de los estudiantes, fue el docente responsable de la asignatura involucrada. Finalizadas las experiencias de uso del nuevo chat creado para Moodle, los profesores pudieron acceder a determinados indicadores calculados automáticamente a partir de las contribuciones registradas.

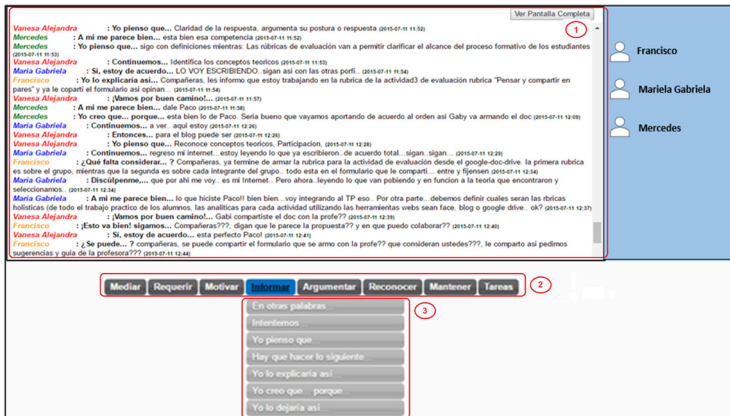


Figura 1. Pantalla con lista desplegada para la subhabilidad “Informar”. (Fuente: Yanacón Atía, Costaguta y Menini, 2018).

Para cada experiencia, el docente pudo consultar tanto las interacciones ingresadas por estudiante, como los indicadores colaborativos calculados a nivel individual y grupal y, además, en ambos casos pudo aplicar determinados filtros (por fechas, por habilidad de colaboración, por subhabilidad o por atributo de colaboración). La Figura 2 muestra, a modo de ejemplo, una imagen de la pantalla real visualizada por un profesor al realizar una consulta de indicadores en una de las experiencias realizadas. Puede observarse allí que el profesor eligió ver resultados a nivel de grupo (sección marcada en rojo con el número 1), que no estableció fechas para filtrar las interacciones, pero sí especificó que los resultados debían computarse a nivel de habilidades (sección marcada en rojo con el número 3), resultando así los resultados mostrados (sección marcada en rojo con el número 2). Del mismo modo, los indicadores requeridos pudieron ser consultados por el docente para cada estudiante en particular.

Contar con los resultados resumidos de esta manera po-

sibilita al profesor, por ejemplo, analizar el comportamiento de cada grupo en forma particular, comparar el desempeño entre diferentes grupos, o realizar una evaluación general considerando en conjunto todos los grupos que participaron de la actividad diseñada. Analizando estos resultados el profesor puede decidir qué acciones ejecutar para mejorar el nivel de desempeño de las habilidades de colaboración considerando a un estudiante en particular, o tomando a cada uno de los grupos como un todo.

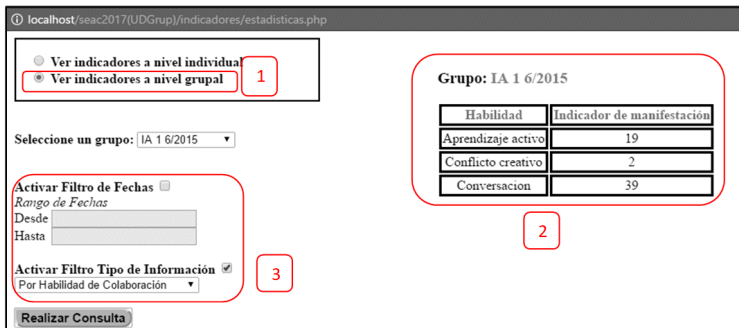


Figura 2. Indicadores a nivel grupal para un grupo participante de una experiencia

Fuente: Yanacón Atía et al., 2018

A fin de conocer la valoración de los usuarios acerca del nuevo chat, se llevó a cabo una encuesta de opinión dirigida a estudiantes y docentes, cuya evaluación reveló un alto nivel de aceptación. Los estudiantes manifestaron, en su mayoría, que el chat es sencillo de usar y que facilita sus intervenciones. No obstante, sugirieron agregar texto enriquecido e imágenes en las contribuciones, mostrar con rojo a los integrantes no conectados y, sobre todo, facilitar la búsqueda de las oraciones de aperturas que se requieren para iniciar la intervención. Estas sugerencias, que se consideran apropiadas se incluirán, a corto

plazo, en una versión mejorada del chat. Mayores detalles sobre cada una de las etapas involucradas en la concreción del módulo de chat para Moodle y el análisis de los resultados de su evaluación experimental pueden consultarse en (Yanacón Atía *et al.*, 2018).

El desarrollo del nuevo módulo permitió, desde el punto de vista tecnológico, aumentar las funcionalidades disponibles en el chat original o nativo de Moodle. Considerando el aspecto pedagógico, se puede afirmar que un chat de las características del desarrollado, que brinda al profesor indicadores que le permiten conocer el nivel de manifestación de las habilidades de colaboración de los grupos y de sus estudiantes, simplifica las tareas de seguimiento de los procesos de aprendizaje y de evaluación de desempeños, y de esta forma, facilita también la toma de decisiones respecto a intervenciones pedagógico-didácticas.

Como líneas de trabajo futuro, se plantea implementar una interfaz que permita el uso de lenguaje natural, es decir, una interfaz que no emplee oraciones de apertura sino texto libre únicamente. Asimismo, se buscará profundizar el estudio de la arquitectura de Moodle para mejorar aspectos de calidad, como tiempos de respuesta del chat, eficiencia de cómputo, y aspectos de seguridad, entre otros. También se intentará incluir nuevas tecnologías que mejoren los servicios del módulo chat, por ejemplo: conectar el módulo con las principales redes sociales para enviar a los usuarios -estudiantes y profesores- notificaciones de eventos ocurridos en el chat. Otro aspecto sobre el que se desea avanzar es en la incorporación de otras funcionalidades, por ejemplo: enviar a los docentes resúmenes de los indicadores de colaboración a través de correo electrónico, permitir que los estudiantes tengan un mayor conocimiento de lo que hacen sus pares mientras utilizan el chat, etc.

## Formación automática de grupos

En experiencias de ACSC la formación de grupos es una tarea importante, puesto que se busca que los grupos formados puedan generar las interacciones necesarias para alcanzar los objetivos de aprendizaje preestablecidos. Costaguta (2015) presenta una revisión de las investigaciones efectuadas al respecto, indicando los fundamentos, algoritmos y criterios aplicados por los diferentes autores para crear grupos en ACSC. Uno de esos criterios consiste en considerar el estilo de aprendizaje de los estudiantes, ya que justamente es dicho estilo el que refleja su modo de actuar cuando lleva a cabo diferentes actividades para lograr un objetivo de aprendizaje (Felder y Silverman, 1988).

Con la hipótesis de que combinar ciertos estilos de aprendizaje en la conformación de los grupos de estudiantes, contribuye a mejorar el desempeño académico (considerando que esto ocurre cuando se obtienen notas superiores a 7 puntos), se desarrolló una herramienta que define automáticamente la conformación de integrantes de cada uno de los grupos dentro de un curso. La herramienta cuenta con un algoritmo genético que considera los estilos de aprendizaje de cada estudiante y forma los grupos combinando los estilos de aprendizaje de sus integrantes de tal manera que propicie mejorar el desempeño académico.

Un algoritmo genético es un tipo de algoritmo que permite resolver un problema sobre la base de la idea biológica de la evolución y supervivencia del más apto (Goldberg, 1989). Generalmente, estos algoritmos son empleados en problemas de búsqueda y optimización. La formación de grupos pertenece a este tipo de problemas y existen antecedentes que emplearon algoritmos genéticos para tal fin (Chen y Kuo, 2019; Ravelo Sánchez, Collazos, Redondo y Ibert Bittencourt, 2021; Zheng, Li, Liu y Lu, 2018). Los algoritmos genéticos empiezan utilizan-



do un conjunto de soluciones posibles, donde cada una de esas soluciones se asemeja a un cromosoma desde el punto de vista genético y evoluciona hasta generar la mejor de las soluciones. El conjunto de soluciones iniciales recibe el nombre de población. En esa población habrá soluciones que resuelven un problema de mejor manera comparada con otras. Para evaluar si las soluciones son buenas, se usa una función conocida como función *fitness*.

El algoritmo se dice evolutivo porque intenta imitar lo que ocurre en el mundo natural. De manera similar a lo que Darwin (2009) describe como evolución de las especies, a través de un proceso en el que sobreviven los individuos más aptos, los algoritmos genéricos buscan que la población evolucione y genere la solución más adecuada para resolver el problema. En el mundo de las especies, las nuevas generaciones se obtienen cuando los individuos de la población se aparean con otros individuos (cruzamiento). También puede ocurrir que los individuos asuman configuraciones únicas a causa de alteraciones en su genoma (mutación). Replicando estas ideas, los algoritmos genéticos cuentan con operadores de selección de padres, cruzamiento y mutación, y con su sucesiva aplicación sobre la población buscan obtener nuevas generaciones.

Para el desarrollo de la herramienta aquí propuesta se tuvieron en cuenta los estilos de aprendizaje definidos por Felder y Silverman (1988) que consideran cuatro dimensiones: procesamiento, percepción, entrada y comprensión. Desde la dimensión del procesamiento, el estilo de aprendizaje puede ser activo o reflexivo. Desde el punto de vista de la percepción, puede ser sensitivo o intuitivo. Considerando la dimensión de la entrada, el estilo de aprendizaje puede ser visual o global. Finalmente, desde la comprensión, puede ser secuencial o global. Cada uno de estos estilos cuenta con características distintivas, como muestra la Tabla 2.

Para generar los grupos de estudiantes con un algoritmo

genético, se decidió implementarlos mediante una lista de números enteros en la que cada elemento de la lista representa un estudiante. La lista a su vez se divide en sublistas de longitud  $k$ , siendo  $k$  la cantidad de integrantes que conforman cada grupo (valor especificado por el profesor). Esta lista de números enteros es una solución factible; alterando el orden de los elementos en la lista se puede obtener una nueva solución, tal alteración de orden se conoce como permutación. Luego, dado que la solución se representa como una lista de números enteros, se elaboró un mecanismo que, a partir de la lista de números, obtiene los grupos formados de manera que lo pueda interpretar una persona (Lescano, Costaguta y Amandi, 2016).

Dimensión	Estilos	Descripción
Procesamiento	Activo Reflexivo	Un estudiante activo se siente más cómodo con la experimentación que con la observación reflexiva, al revés de un estudiante reflexivo. Un estudiante activo no aprende en situaciones de pasividad y trabaja bien en grupo. Un estudiante reflexivo no aprende en situaciones que no proporcionan la oportunidad de pensar sobre la información que se le presenta, trabaja mejor solo y tiende a ser teórico.
Percepción	Sensitivo Intuitivo	Un estudiante sensitivo gusta de hechos, datos, y experimentaciones; resuelve problemas comprendiendo los métodos, no le agradan las sorpresas ni las complicaciones; es paciente con los detalles; es bueno memorizando hechos; es cuidadoso pero lento. Un estudiante intuitivo prefiere principios y teorías; gusta de innovaciones y complicaciones; y no de repetición; se aburre con detalles; es bueno para asimilar nuevos conceptos.
Entrada	Visual Verbal	Un estudiante visual recuerda mejor lo que ve (figuras, diagramas, cuadros, demostraciones, etc.). Un estudiante verbal recuerda más lo que escucha, aprende a partir de la discusión, y prefiere las explicaciones verbales a las demostraciones visuales.
Comprensión	Secuencial Global	Un estudiante secuencial aprende en un orden de progresión lógica, regido por el tiempo y el calendario. Un estudiante global no se rige por el tiempo ni el calendario, puede pasar días ocupado en resolver un simple problema o demostrando poca comprensión hasta que de repente logra una rápida comprensión del todo.

Tabla 2. Dimensiones y estilos de aprendizaje

Fuente: Elaboración propia

La función *fitness* se definió para evaluar cada solución de agrupamiento considerando la cantidad de grupos que obtienen buen desempeño. La salida de esta función produce un valor entre 0 y 1. Cuanto más cercano a 1 es el valor, mejor es el agrupamiento generado, es decir, todos los grupos obtendrán buen desempeño. Para definir matemáticamente la función *fitness* se consideraron los resultados obtenidos en un trabajo de investigación previo (Costaguta, Menini y Lescano, 2016), donde mediante técnicas de minería de datos aplicadas sobre datos históricos de grupos colaborativos, se pudieron descubrir las combinaciones de estilos de aprendizaje presentes en grupos que obtuvieron un buen desempeño.

A fin de encontrar la mejor configuración para el algoritmo genético desarrollado, se probaron distintas alternativas en la definición de sus operadores de selección de padres, cruce, y mutación. Todas las opciones consideradas fueron compatibles con la representación basada en permutación utilizada para solucionar el problema. El comportamiento del algoritmo genético fue analizado con distintas cantidades de estudiantes. Específicamente, se efectuaron simulaciones con 15, 30, 45 y 60 estudiantes.

La evaluación del algoritmo genético desarrollado para formar grupos basados en los estilos de aprendizaje de los estudiantes arrojó resultados promisorios ya que los valores de la función *fitness* tendieron a ser cercanos a 1, es decir, a los valores óptimos. Esto muestra la factibilidad de emplear algoritmos genéticos para construir grupos teniendo en cuenta el estilo de aprendizaje de los alumnos de manera que los grupos alcancen un buen desempeño. Mayores detalles sobre cada una de las etapas involucradas en el desarrollo del algoritmo genético y del análisis de los resultados de su evaluación pueden consultarse en (Lescano et al., 2016). A futuro se pretende investigar otros criterios de agrupamiento, a fin de complementar la consideración de los estilos de aprendizaje de los es-

tudiantes con la inclusión de otras características que tengan impacto tanto en el aprendizaje individual como en el grupal.

### **Un metabuscador para grupos colaborativos**

Encontrar información útil en la web es un problema cotidiano que necesita resolver cualquier usuario de internet. Una estrategia que puede ayudar es el uso de buscadores web, es decir, el uso de aplicaciones que tratan de facilitar el acceso a las páginas o a los contenidos web relevantes. Estos buscadores, también llamados motores de búsqueda, son programas que, tomando palabras clave introducidas por el usuario, efectúan búsquedas dentro de las bases de datos de documentos web y devuelven como resultado una lista ordenada de archivos vinculados con esas palabras clave. Más recientemente, los usuarios cuentan con una segunda estrategia consistente en utilizar metabuscadores, es decir, aplicaciones que acceden a varios motores de búsqueda simultáneamente y devuelven un listado de resultados unificados (Torres Pombert, 2013; Yu, Meng y King Lup, 2002).

En ACSC muchas de las actividades llevan a los integrantes de los grupos a realizar búsquedas individuales de material digital en la web, luego también de forma individual, esos estudiantes deben analizar los resultados obtenidos a fin de determinar su utilidad, para finalmente y de nuevo en grupo, consensuar sus opiniones y elaborar un producto o conclusión conjunta. Este proceder implica un desperdicio enorme de tiempo y esfuerzo ya que todos los integrantes de un mismo grupo dispararán sus búsquedas personales con claves similares, y sin importar que buscador o metabuscador utilicen, recuperarán un listado de documentos similar.

Dada esta problemática se creó un metabuscador basado en agentes, para contextos de búsquedas colaborativas, deno-

minado June. El metabuscador June permite a cada estudiante de un grupo disparar su búsqueda utilizando distintos motores de búsqueda, recuperar los resultados, asignar una valoración personal a cada resultado, e incluir un comentario si lo desea. La Figura 3 muestra la pantalla inicial del metabuscador, allí puede observarse el espacio destinado a que el estudiante ingrese las palabras clave de su búsqueda, y también las casillas que le permiten seleccionar los motores de búsqueda que recuperarán los resultados de su búsqueda.



Figura 3. Interfaz inicial de June

Fuente: Pérez Crespo, Pérez Crespo y Costaguta, 2018

June se vale de un algoritmo de ranqueo especialmente diseñado para ordenar los resultados, considerando, además, los resultados obtenidos en búsquedas previas disparadas por otros integrantes del mismo grupo. El algoritmo se enfoca en una valoración grupal calculada en función del promedio de las valoraciones que los estudiantes asignaron de manera individual a cada documento. El funcionamiento del metabuscador June se muestra con detalle en la Figura 4.

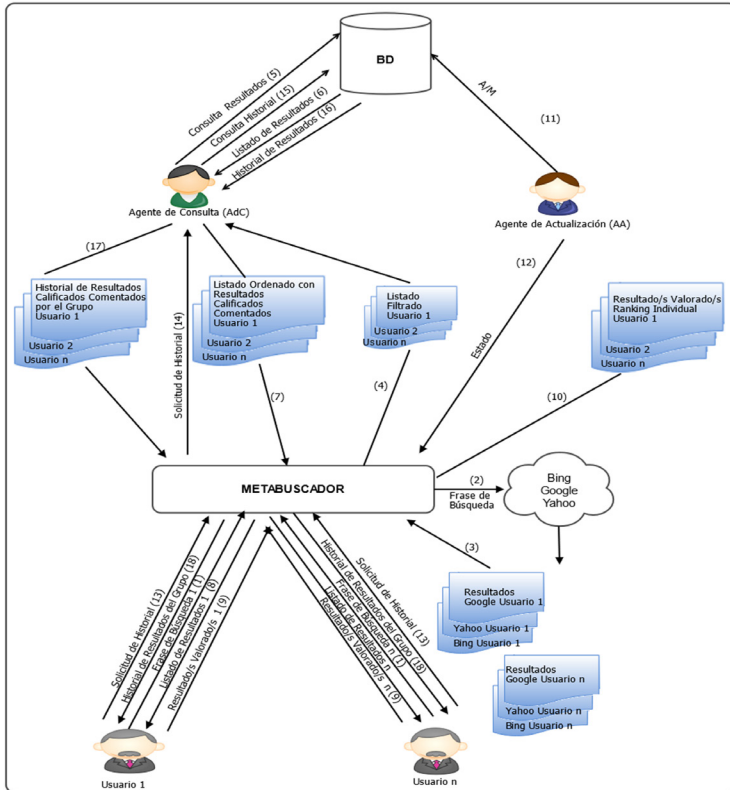


Figura 4. Esquema de funcionamiento del metabuscador June  
Fuente: Elaboración propia

En (1) el estudiante dispara la búsqueda ingresando las palabras clave en el metabuscador, que se encarga de recuperar los resultados de búsquedas de los motores seleccionados (2, 3) (Bing, Yahoo, Google y Ask) y realizar un filtrado para eliminar los resultados duplicados. El listado de urls obtenido es enviado al Agente de Consulta (AdC) (4) que se encarga de examinar la base de datos (BD) para recuperar aquellos resultados que ya

fueron valorados y comentados por otros integrantes del grupo. Por cada coincidencia de url entre el listado y el contenido de la BD (5), el AdC recupera la identificación del usuario, su valoración y comentario (6). A continuación, el AdC devuelve al metabuscador el listado de urls resultantes ordenadas de acuerdo con una valoración grupal, obtenida al promediar las valoraciones individuales asociadas a dichos resultados (7). El listado ranqueado es mostrado al estudiante que disparó la consulta (8), quien a partir de este puede acceder a alguno de los resultados incluidos, analizarlo, asignar una valoración, y también asociar un comentario, si lo desea (9). El metabuscador envía el resultado valorado y comentado al Agente de Actualización (AA) (10), quien se encarga de actualizar la BD (11): si la url no existe, la agrega y coloca la valoración, comentario e identificación del estudiante que la formula; y si existe, agrega la nueva valoración junto con el comentario y la identificación correspondiente al alumno que la asignó. El AA, después de actualizar la BD, envía una señal al metabuscador (12) para que actualice el listado actual de resultados con el que están trabajando los estudiantes del grupo a fin de mostrar las modificaciones efectuadas, es decir, se repite la secuencia (4, 5, 6, 7, 8).

Para desarrollar June se emplearon dos metodologías de diseño: OOHDM (Aguilar y Arroyo, 2013; Artaza Álvarez, 2010; Mantilla y Santos, 2007; Soto De Giorgis, Palma Muñoz y Roncagliolo de la Horra, 2002) y GAIA (Lázaro Molina, 2006; Muñoz, Cobos, Rivera, López y Mendoza, 2010; Wooldridge, Jennings y Kinny, 2000).

La Figura 5 muestra el listado ranqueado de resultados obtenidos por un estudiante. Para cada documento, el estudiante puede apreciar las calificaciones otorgadas por sus compañeros de grupo y también acceder a los comentarios escritos por ellos. Al mismo tiempo, puede decidir leer y comentar esos mismos documentos, o acceder a alguno que sus compañeros aún no hayan evaluado ni comentado.

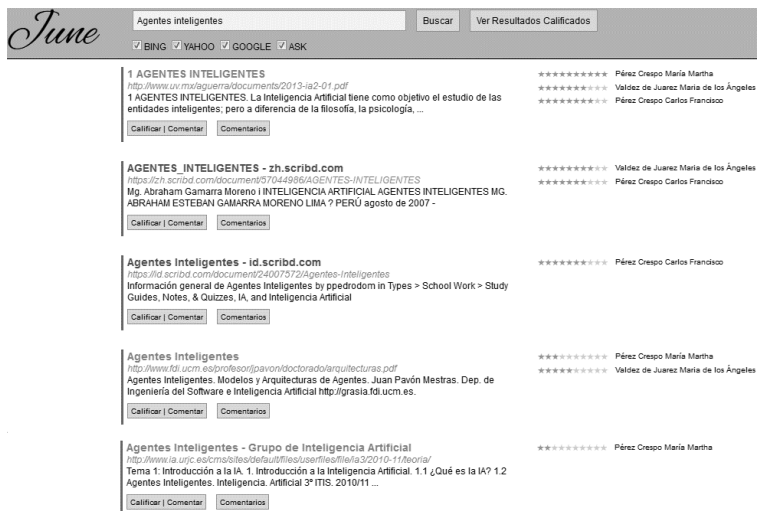


Figura 5. Ejemplo de resultados devueltos por June  
Fuente: Pérez Crespo et al., 2018.

El funcionamiento de June fue validado mediante su utilización por ocho grupos reales de estudiantes de las carreras Licenciatura en Sistemas de Información y Programador Universitario en Informática, pertenecientes a la FCEyT de la UNSE. En todos los casos los docentes responsables de las asignaturas crearon los grupos colaborativos, diseñaron una actividad de aprendizaje en la que los estudiantes debían utilizar el metabuscador y asignaron la actividad para ser efectuada en el plazo de una semana. Los estudiantes de todos los grupos trabajaron sin participación del docente y sus intervenciones utilizando el metabuscador fueron almacenadas para su posterior análisis.

Una vez concluida la experimentación se procesó la información almacenada acerca de los procesos de búsqueda disparados, los comentarios y las calificaciones efectuadas por los estudiantes. Los resultados obtenidos fueron promisorios.



Se detectó que, si bien es opcional realizar un comentario sobre un resultado, en más del 60% de los casos los estudiantes hicieron uso de esta posibilidad para argumentar e indicar si eran o no de su agrado. Al mismo tiempo, se comprobó que los estudiantes se valieron de la calificación asignada por sus compañeros para decidir acceder o no a un resultado, prefiriendo recuperar aquellos que aún no hubieran sido calificados, ni comentados. Finalmente, puesto que la cantidad de documentos con bajas calificaciones doblemente comentados fue casi nula (en solo 2 documentos sobre un total de 116), también se concluyó en que los estudiantes confían en la evaluación efectuada por sus pares y tienden a no desperdiciar tiempo y esfuerzo en analizar material considerado inapropiado por otros integrantes de su grupo.

Para complementar las valoraciones, mediante sendos cuestionarios especialmente diseñados, se recabaron las opiniones de los estudiantes y de los docentes que participaron en la experimentación. Al procesar las respuestas quedó manifestado que los estudiantes consideraron que June es una herramienta amigable, agradable en su interfaz, fácil de usar, útil para comunicar los resultados a los compañeros, que contribuye a realizar mejor las tareas grupales de búsqueda de material y que resulta motivador, puesto que los impulsa a consultar resultados que aún no han sido accedidos por otros integrantes del grupo. Las opiniones de los docentes coincidieron en que June es una herramienta fácil de usar, útil para trabajos en grupo que incluyan tareas de búsqueda en la web y que contribuye a mejorar la calidad de los trabajos realizados. Además, consideran que el hecho de que un estudiante califique y comente, así como también que pueda observar las calificaciones y comentarios realizados por sus compañeros, impacta en su motivación y productividad.

En conclusión, June eficientiza los procesos de búsqueda colaborativos, contribuyendo a disminuir tanto el tiempo

destinado a comunicación entre los integrantes de un grupo, como el tiempo dedicado a la lectura de materiales web por parte de cada estudiante. Sin embargo, podrían incluirse algunas mejoras, por ejemplo, en esta primera versión no se consideraron filtros que suelen ser de mucha utilidad al momento de hacer más precisa una búsqueda. La incorporación de filtros que permitan hacer búsqueda solo de imágenes, o por fecha, por región. etc., así como el uso de ventanas emergentes y la posibilidad de convocar otros buscadores además de Bing, Yahoo, Google y Ask, son algunas de las futuras líneas de trabajo. También se pretende consolidar los resultados obtenidos incrementando los resultados experimentales analizados. Una descripción detallada del desarrollo y validación experimental del metabuscador June puede consultarse en (Pérez Crespo *et al.*, 2018).

### **Herramienta para detección automática de problemas de grupo**

La coordinación de grupos colaborativos en contextos ACSC no es tarea sencilla porque, generalmente, el análisis manual de interacciones demanda mucho tiempo y esfuerzo. La complejidad del análisis manual se agrava a medida que crece la cantidad de estudiantes y mensajes intercambiados dado que es sumamente difícil seguir el hilo de las discusiones, las ideas, y las contribuciones de cada estudiante (Dönmez *et al.*, 2005; Constantino González, Suthers y Escamilla de los Santos, 2003; Chen, 2006; Rosé, Wang, Arguello, Stegmann, Weinberger y Fischer, 2008).

Ya se mencionó que en los entornos de ACSC suelen utilizarse dos tipos de interfaces para modelar las interacciones: por un lado, las semiestructuradas (oraciones de apertura, interfaces basadas en menú, interfaces basadas en diagramas,

etc.) y, por otro, las basadas en texto libre. Las interfaces semiestructuradas son bastante populares debido a que simplifican el proceso de análisis puesto que no se necesita procesar el texto contenido en las intervenciones para inferir características del proceso de interacción (por ejemplo, categorías de los mensajes). No obstante, existen investigaciones que demuestran que su utilización impacta negativamente en el proceso de colaboración (Chen y Wasson, 2005; Constantino González *et al.*, 2003; Olivares, 2007).

Una interfaz basada en texto libre resulta ventajosa porque permite que los estudiantes y docentes escriban sus contribuciones sin estar limitados por tipos o categorías predeterminadas, pero como desventaja no puede usarse la propia interfaz para hacer inferencias sobre la interacción y, por consiguiente, es necesario recurrir a técnicas de procesamiento de lenguaje natural (Santana Mansilla, Costaguta y Missio, 2014).

Considerando el esfuerzo requerido en el análisis manual y las ventajas asociadas con el uso de interfaces basadas en texto libre, sería deseable que las herramientas de ACSC sean capaces tanto de detectar automáticamente los problemas grupales como de informar a los docentes; pero, sin afectar negativamente la dinámica de trabajo de los estudiantes o los docentes, ni representar una sobrecarga de trabajo para estos últimos. Por las razones expresadas se desarrolló una herramienta que combina minería de textos con agentes de software para asistir a los docentes de ACSC, cumpliendo con los dos requisitos mencionados.

La minería de textos es un proceso que permite descubrir información y conocimiento oculto en una colección de documentos de texto (Césari, 2007) mediante técnicas capaces de tratar con la vaguedad, incerteza y la borrosidad propias de los documentos de texto (Hotho, Nürnberger y Paab, 2005). Un agente de software es un programa de computadora diseñado para realizar tareas en beneficio del usuario (Coppin,

2004). Los agentes de software funcionando en segundo plano pueden monitorear la colaboración, recolectar mensajes, procesarlos con técnicas de minería de textos y proveer a los docentes de alertas de situaciones problemáticas en los grupos que requieran su atención. Al funcionar en segundo plano no son intrusivos y permiten que los docentes se concentren en su trabajo sin ser perturbados (Chen *et al.*, 2005).

La Figura 6 muestra la estructura de la herramienta desarrollada, que realiza la detección y notificación de problemas grupales. La herramienta cuenta con dos tipos de agentes por grupo de estudiantes: un agente detector (AD) y un agente de alerta (AdA). El AD utiliza algoritmos de minería de textos para analizar y reconocer problemas en los mensajes intercambiados en foros phpBB<sup>6</sup> entre los estudiantes miembros de un grupo. Detectado un problema, el AD informa al AdA el tipo de problema detectado para que sea el AdA quien notifique al docente. Una vez notificado, el docente analizará la situación puntual y decidirá si es conveniente su intervención en el grupo sobre el que se detectó el problema. Los tipos de conflictos responden a las categorías del Análisis del Proceso de Interacción (*Interaction Process Analysis - IPA*) (Bales, 1951). IPA es un método que codifica las conductas grupales en doce categorías: muestra solidaridad, muestra relajamiento, muestra acuerdo, da sugerencia, da opinión, da información, pide información, pide opinión, pide sugerencia, muestra desacuerdo, muestra tensión y muestra antagonismo.

6 <https://www.phpbb.com/>

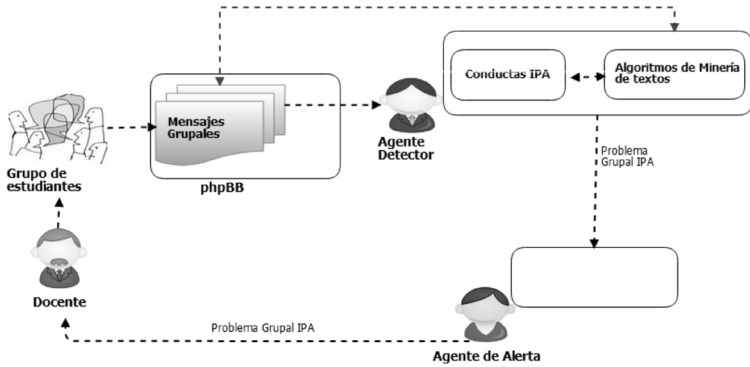


Figura 6. Estructura de la herramienta desarrollada para la detección de problemas grupales  
 Fuente: Elaboración propia

A partir de dicha categorización de conductas grupales, el método IPA permite reconocer seis tipos de problemas que puede atravesar evolutivamente un grupo: comunicación, evaluación, control, decisión, reducción de tensiones y reintegración. Los problemas se detectan cuando la cantidad de conductas caen por arriba o por abajo de los límites esperados, tal como se muestra en la Tabla 3.

PROBLEMAS	CONDUCTAS	LÍMITE SUPERIOR (%)	LÍMITE INFERIOR (%)
Comunicación	C6. Da información	30	14
	C7. Pide información	11	2
Evaluación	C5. Da opiniones	40	21
	C8. Pide opinión	9	1
Control	C4. Da sugerencias u orientación	11	4
	C9. Pide sugerencias u orientación	5	0
Decisión	C3. Muestra acuerdo o aprueba	20	6
	C10. Muestra desacuerdo	13	3

Reducción de tensión	C2. Muestra relajamiento	14	3
	C11. Muestra tensión o molestia	10	1
Reintegración	C1. Muestra solidaridad	5	0
	C12. Muestra antagonismo	7	0

Tabla 3. Valores límite para las conductas IPA

Fuente: Elaboración propia

Para la detección automática de los problemas IPA entre estudiantes que se comunican mediante foros, se utilizaron diferentes algoritmos de minería de textos que permitieron clasificar las oraciones de los mensajes en alguna de las doce categorías IPA. Los algoritmos de clasificación necesitan ser entrenados previamente, es decir, requieren de un conjunto de interacciones clasificadas a mano para poder aprender a distinguir entre categorías. Las interacciones que se utilizaron para efectuar este entrenamiento provinieron de actividades con grupos de estudiantes universitarios reales que interactuaron en foros de las plataformas Moodle<sup>7</sup> y E-educativa<sup>8</sup>. Sobre ese conjunto de interacciones se aplicó análisis de contenido (Krippendorff, 2004) y dos psicopedagogos realizaron la clasificación manual indicando para cada oración de las interacciones la conducta IPA que se reconocían.

Una vez obtenida la colección de mensajes con sus categorías IPA, la construcción de los clasificadores de conductas IPA se realizó siguiendo los lineamientos de la metodología de minería de datos CRISP-DM (Chapman, Clinton, Kerber, Khabaza, Reinartz, Shearer y Rudiger, 2000). Luego de construidos los clasificadores de conductas IPA, se aplicó la metodología INGENIAS (Pavón y Gómez Sanz, 2003) para desarrollar los

7 <https://moodle.org/>8 <https://www.educativa.com>

agentes de software propuestos.

Finalmente, todo se implementó en la herramienta de foro colaborativo phpBB. Para validar el funcionamiento de los agentes y las adaptaciones a phpBB se realizaron experiencias colaborativas *online* con docentes y alumnos de las carreras Licenciatura en Sistemas de Información y Profesorado en Informática, pertenecientes a la FCEyT de la UNSE. Los resultados obtenidos permitieron comprobar que los agentes de software reconocieron automáticamente el 60% de los problemas grupales IPA ocurridos en los grupos.

Como línea de trabajo futuro, a corto plazo, se intentará comprobar el porcentaje de utilidad que los docentes le asignen a las notificaciones de problemas IPA y si las alertas permiten resolver los problemas grupales. A largo plazo, se pretende dotar de inteligencia al AdA para que, además de notificar los problemas que se detecten, sea capaz de sugerir, al docente, estrategias para resolverlos. Una descripción detallada del desarrollo y validación experimental de los agentes de detección y notificación de problemas IPA puede consultarse en (Colman, 2021).

## Conclusiones

Hablar de ACSC es hablar de situaciones de enseñanza y de aprendizaje organizadas a través de actividades colaborativas, mediadas por computadora, en las que los estudiantes interactúan organizados en grupos realizando tareas asignadas por el docente. Debido a las ventajas que ofrece, entre otras, independizar a estudiantes y docentes de las variables tiempo y espacio ya que pueden colaborar en cualquier momento y desde cualquier punto geográfico, el ACSC fue rápidamente adoptado en los ámbitos educativos de todos los niveles.

Sin embargo, queda claro que no existen garantías respecto

a que las experiencias de enseñanza y de aprendizaje en ACSC sean exitosas. Hay numerosas variables que inciden en ese resultado y es aquí donde los desarrollos informáticos específicos pueden hacer la diferencia. Por ejemplo, asistiendo al docente en la creación de los grupos de estudiantes combinados de tal manera que potencie sus desempeños, analizando el comportamiento de los integrantes para calcular y mostrar indicadores de diferente índole, o monitoreando la dinámica de trabajo de los grupos para detectar los problemas a tiempo para una adecuada y oportuna intervención del docente. Como se mostró en las secciones previas, estos fueron algunos de los motivos que inspiraron el desarrollo de las aplicaciones descritas en el presente capítulo. Cabe destacar, además, que esos desarrollos tuvieron un valioso impacto en la FCEyT de la UNSE, al efectuarse en el marco de trabajos finales de graduación para la carrera Licenciatura en Sistemas de Información.

Dados los resultados positivos logrados durante la experimentación con cada una de las aplicaciones, tal como se presentó en las secciones previas, actualmente se trabaja en la integración de estas aplicaciones en una plataforma de aprendizaje colaborativo que está desarrollando el grupo de investigadores autores de este capítulo. En la actualidad, no existe una herramienta con las características de la que se está creando: que brinde apoyo a las actividades tanto de estudiantes, como de docentes, capaz de analizar automáticamente las interacciones, calcular indicadores de comportamiento individuales y grupales, formar de manera inteligente grupos de aprendizaje, detectar problemas durante la dinámica de trabajo en grupos y dar soporte de las búsquedas web que lleven a cabo los grupos de estudiantes. Sin lugar a duda, contar con todas estas funcionalidades incluidas en una misma plataforma, será una contribución efectiva al área del ACSC.

A mediano y largo plazo, el grupo de investigadores planea continuar utilizando técnicas de aprendizaje de máquina y de



minería de datos en sus desarrollos, además de profundizar en los temas presentados en este capítulo, también se espera poder incorporar nuevos, como por ejemplo: otras características que impacten en el comportamiento de un estudiante dentro de un grupo (quizás considerando la natural predisposición a desempeñar un rol de equipo dado, o el estado emocional del estudiante), otras estrategias para conformar automáticamente los grupos de estudiantes en búsqueda de un mejor desempeño académico, el desarrollo de aplicaciones orientadas a mejorar el desempeño de los docentes en ACSC, o la inclusión de técnicas de realidad aumentada que favorezcan la consecución de los objetivos de enseñanza y de aprendizaje.

Los autores de este capítulo trabajan en el área del ACSC hace más de 10 años por lo que se trata de un grupo de investigadores y de una línea de investigación consolidados que ha producido numerosas publicaciones en el área y generado una amplia formación de recursos humanos (investigadores, becarios-tesistas doctorales, de maestría, especialización y grado).

En la actualidad el grupo mantiene estrecho vínculo y colaboración con investigadores afines de Europa y Latinoamérica, e integra una red iberoamericana de investigación (Red-VG-Collab), lo que pone de manifiesto su visibilidad a nivel internacional y amplía su horizonte tanto de generación de conocimiento como de formación de recursos humanos altamente especializados.

## Bibliografía

- Aiken, Robert, Bessagnet, Marie e Israel, Judith (2005). "Interaction and Collaboration Using an Intelligent Collaborative Learning Environment". *Education and Information Technologies*. (10), pp. 65-80.
- Aguilar Bernabé, Roberto y Arroyo Flores, Elder (2013). *Diseño e implementación de una plataforma web, aplicada a un aula digital empleando la metodología OOHDM*. [En línea]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/8486>.
- Ambler, Scott (2005). *The Agile Unified Process*. [En línea]. [https://www.researchgate.net/profile/Scott-Ambler/publication/267259668\\_The\\_Agile\\_Unified\\_Process\\_AUP/links/55003e7e0cf28e4ac347ee37/The-Agile-Unified-Process-AUP.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Scott-Ambler/publication/267259668_The_Agile_Unified_Process_AUP/links/55003e7e0cf28e4ac347ee37/The-Agile-Unified-Process-AUP.pdf).
- Artaza Álvarez, Haydeé (2010) *Estudio de una metodología para el desarrollo de aplicaciones hipermedia educativas accesibles*. [En línea]. <http://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/9589>.
- Bales, Robert F. (1951). *Interaction process analysis - A method for the study of small groups*. USA. Addison-Wesley.
- Bruffee, Kenneth (1999). *Collaborative learning: higher education, interdependence and the authority of knowledge*. Baltimore (Maryland EEUU): Johns Hopkins University Press.
- Chapman, Pete; Clinton, Julian; Kerber, Randy; Khabaza, Thomas; Reinartz, Thomas; Shearer, Colin y Rudiger, Wirth (2000). *CRISP-DM 1.0: Step-by-Step Data Mining Guide*. [En línea]. <https://the-modeling-agency.com/crisp-dm.pdf>.
- Césari, Matilde (2007). *Cartografiado de Textos. Protocolo de Exploración y Visualización de datos textuales aplicados a la Minería de Textos*. Universidad Politécnica de Madrid.
- Chen, Chih Ming y Kuo, Chi Hsiung (2019). "An optimized group formation scheme to promote collaborative problem-based learning". *Computers and Education*, 133(64), pp. 94-115.
- Chen, Weiqin y Wasson, Barbara (2002). "An Instructional As-

- sistant Agent for Distributed Collaborative Learning". En *Proceedings of 6th International Conference on Intelligent Tutoring Systems ITS'2002* Berlín, pp. 609-618.
- Chen, Weiqin y Wasson, Barbara (2005). "Intelligent agents supporting distributed collaborative learning". En Lin, F. O. (ed.) *Designing Distributed Learning Environments with Intelligent Software Agent* (pp. 33-66). IGI Global.
- Chen, Weiqin (2006). "Supporting teachers' intervention in collaborative knowledge building". *Journal of Network and Computer Applications*. 29(2-3), pp. 200-215.
- Colman, María Cecilia (2021). *Detección de conflictos grupales IPA mediante minería de texto en foros de ACSC*. Trabajo Final de Graduación. Universidad Nacional de Santiago del Estero, Argentina.
- Constantino González, María, Suthers, Daniel y Escamilla de los Santos, José (2003). "Coaching web-based collaborative learning based on problem solution differences and participation". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 13(2-3), pp. 263-99.
- Coppin, Ben (2004). *Artificial intelligence illuminated*. USA. Jones and Bartlett Publishers.
- Costaguta, Rosanna (2008). "Habilidades de Colaboración Manifestadas por los Estudiantes de Ciencias de la Computación". *Revista Nuevas Propuestas*. Santiago del Estero, Argentina. N°43 y 44, pp. 55-69.
- Costaguta, Rosanna, García, Patricio y Amandi, Analía (2011). "Using Agents for Training Students Collaborative Skills", *IEEE Latinoamerican Transactions*, 9(7), pp. 1118-1124.
- Costaguta, Rosanna (2015). "Algorithms and Machine Learning Techniques in Collaborative Group Formation". *Advances in Artificial Intelligence and Its Applications*. pp. 249-258.
- Costaguta, Rosanna, Menini, María de los Ángeles y Lescano, Germán (2016). "Applying data mining to discover successful collaborative groups styles". En *Proceedings of 8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems*. Cartagena, Colombia: IEEE.

- Daradoumis, Thanasis, Martínez Monés, Alejandra y Xhafa, Fatos (2006). "A layered framework for evaluating on-line collaborative learning interactions". *International Journal of Human Computer Studies*. 64(7), pp. 622-635.
- Darwin, Charles (2009). *The origin of species by means of natural selection* (6a Ed.) Cambridge: University Press.
- Dillenbourg, Pierre (1999). "What Do You Mean by 'Collaborative Learning?'" *Collaborative Learning Cognitive and Computational Approaches*. 1(6), pp. 1-13.
- Dönmez, Pinar; Rosé, Carolyn; Stegmann, Karsten; Weinberger, Armin y Fischer, Frank (2005). "Supporting CSCL with automatic corpus analysis technology". En *Proceedings of the 2005 Conference on Computer support for Collaborative Learning: the next 10 years!* (pp. 125-34). Nueva York. Routledge.
- Edwards, Derek y Mercer, Neil (1987). *El conocimiento compartido: el desarrollo de la comprensión en el aula*. Barcelona: Paidós
- Felder, Richard y Silverman, Linda (1998). "Learning and teaching styles in engineering education application". *Journal of Engineering Education*. 78(7).
- Goldberg, David (1989). *Genetic algorithms in search, optimization and machine learning*. Boston, MA: Addison-Wesley Longman Publishing Co.
- Gros, Begoña (2000). *El ordenador invisible*. Barcelona: Gedisa.
- Hotho, Andreas; Nürnberger, Andreas y Paab, Gerhard (2005). "A brief survey of text mining". *Journal for Computational Linguistics and Language Technology*. (20), pp. 19-62.
- Jermann, Patrick y Schneider, Daniel (1997). "Semi-structured interface in collaborative problem solving". En *Proceedings of the First Swiss Workshop on Distributed and Parallel Systems*, Lausanne, Switzerland.
- Johnson, David; Johnson, Roger y Johnson Holubec, Edythe (1984). *Circles of learning: cooperation in the classroom*. New Jersey Englewood Cliffs.
- Johnson, David; Johnson, Roger y Johnson Holubec,

- Edythe (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Barcelona: Paidós.
- Krippendorff, Klaus (2004). *Content analysis: An introduction to its methodology* (2da. Ed.) USA: SAGE Publications.
- Lazonder, Ard; Wilhelm, Pascal y Ootes, Susanne (2003). "Using sentence openers to foster student interaction in computer-mediated learning environments". *Journal Computers and Education*. 41(3), pp. 291-308.
- Lázaro Molina, Jorge (2006). "Apuntes metodológicos de desarrollo orientado a agentes: aplicación a una agencia de viajes". [En línea]. <http://oa.upm.es/948>.
- Lescano, Germán, Costaguta, Rosanna y Amandi, Analía (2016). Genetic algorithm for automatic group formation considering student's learning styles. En *Proceedings of 8th Euro American Conference on Telematics and Information Systems*. Cartagena, Colombia: IEEE.
- Mantilla Yáñez, Daniel y Santos Castillo, Ana (2007). "Desarrollo de un portal web para el ingreso y consultas de notas para el Colegio Nacional Mixto María Angélica Carrilo de Mata Martínez". [En línea]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1359>.
- McManus, Margaret y Aiken, Robert. (1996). "Teaching collaborative skills with a group leader computer tutor". *Education and Information Technologies*. 1(1), pp. 75-96.
- MoodleDocs. (2016). "Acerca de Moodle. [Docs.moodle.org](https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle)". [En línea]. [https://docs.moodle.org/all/es/Acerca\\_de\\_Moodle](https://docs.moodle.org/all/es/Acerca_de_Moodle).
- Muñoz, Norman, Cobos, Carlos, Rivera, Williams, López, Jaime y Mendoza, Martha. (2010). "Uso de la metodología GAIA para modelar el comportamiento de personajes en un juego de estrategia en tiempo real". [En línea]. *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*. (53), pp. 214-224. <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n53/n53a20.pdf>.
- <http://www.scielo.org.co/pdf/rfiua/n53/n53a20.pdf> Olivares, Orlando. (2007). "Collaborative vs. cooperative learning: The instructor's role in computer supported collaborative learning". Orvis, K. L. and Lassiter, A. L. R. (eds.) *Compu-*

- ter-Supported Collaborative Learning: Best Practices and Principles for Instructors* (pp. 20-39). Nueva York: Information Science Publishing.
- Panitz, Theodore y Panitz, Patrizia (1998). "Encouraging the Use of Collaborative Learning in Higher Education". In James J. Forest (ed.) *Issues Facing International Education*. NY: Garland Publishing.
- Pavón, Juan y Gómez Sanz, Jorge (2003). "Agent oriented software engineering with INGENIAS". En Mařík, Vladimír, Pěchouček, Michal y Müller, Jörg (Eds.), *Multi-Agent Systems and Applications III. 3rd International Central and Eastern European Conference on Multi-Agent Systems* (pp. 394-403). Praga: Springer.
- Pérez Crespo, Carlos; Pérez Crespo, María Marta y Costaguta, Rosanna (2018). "Un metabuscador que eficientiza búsquedas colaborativas". *Revista Campus Virtuales*, 7(1), pp. 81-93.
- Persico, Donatella; Pozzi, Francesca y Sarti, Luigi (2010). "Monitoring collaborative activities in computer supported collaborative learning". *Distance Education*. 31(1), pp. 5-22.
- Ravelo Sánchez, Oscar; Collazos, César; Redondo, Miguel e Ibert Bittencourt, Ig (2021). "Homogeneous Group Formation in Collaborative Learning Scenarios: An Approach Based on Personality Traits and Genetic Algorithms". *IEEE Transactions on Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/TLT.2021.3105008>
- Rosé, Carolyn; Wang, Yi-Chia; Arguello, Jaime; Stegmann, Karsten; Weinberger, Armin y Fischer, Frank (2008). "Analyzing collaborative learning processes automatically: Exploiting the advances of computational linguistics in computer-supported collaborative learning". *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*. 3(3), pp. 237-271.
- Salinas, Jesús (2000). "El aprendizaje colaborativo con los nuevos canales de comunicación". Cabero, J. (ed.). *Nuevas tecnologías aplicadas a la educación* (pp. 199-227). Madrid: Síntesis.

- Santana Mansilla, Pablo; Costaguta, Rosanna y Missio, Daniela (2014). "Aplicación de algoritmos de clasificación de minería de textos para el reconocimiento de habilidades de docentes colaborativos". *Inteligencia Artificial*. 17(53), pp. 57-67.
- Soto De Giorgis, Ricardo; Palma Muñoz, Wenceslao y Roncagliolo de la Horra, Silvina (2002). "Propuesta de un modelo navegacional para el desarrollo de aplicaciones basadas en OOADM". [En línea]. <https://studylib.es/doc/704629/modelo-navegacional-para-el-desarrollo-de>.
- Stahl, Gerry; Koschmann, Timothy y Suthers, Daniel (2006) "Computer-Supported Collaborative Learning". En Sawyer, R. K. (ed.) *The Cambridge Handbook of The Learning Sciences* (pp 409-426). Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Soller, Amy (2001). "Supporting social interaction in an intelligent collaborative learning system". *International Journal of Artificial Intelligence in Education*. 12(1), pp. 40-62.
- Torres Pombert, Ania (2013). "El uso de los buscadores en internet". [En línea]. <http://eprints.rclis.org/5089/1/uso.pdf>.
- Wooldridge, Michael; Jennigs, Nicholas y Kinny, David (2000). "The Gaia methodology for agent-oriented analysis and design". [En línea]. <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1010071910869>
- Yanacón Atía, Diego; Costaguta, Rosanna y Menini, María de los Ángeles (2018). "Indicadores colaborativos individuales y grupales para Moodle". *Revista Campus Virtuales*, 7(1), pp. 125-139.
- Yu, Clement; Meng, Weiyi y King Lup, Liu (2002). "Building efficient and effective metasearch engines". [En línea] <https://dl.acm.org/doi/10.1145/505282.505284>.
- Zañartu Correa, Luz María (2003). "Aprendizaje colaborativo: una nueva forma de Diálogo Interpersonal y en Red". *Revista Digital de Educación y Nuevas Tecnologías – Contexto Educativo*. 28(V), pp. 1-10.
- Zheng, Yaqian; Li, Chunrong; Liu, Shiyu y Lu, Weigang (2018). "An improved genetic approach for composing optimal

collaborative learning groups". *Knowledge-Based Systems*, 139(1 January 2018), pp. 214–225.



# PLATAFORMAS DE CATÁLISIS Y DETECCIÓN ELECTROQUÍMICA BASADAS EN PASTA DE GRAFITO Y NANOPARTÍCULAS METÁLICAS

VERÓNICA I. PAZ ZANINI<sup>1</sup>; VIRGINIA M. ARAUJO<sup>1</sup>;  
FLORENCIA A. GULOTTA<sup>2</sup>; FÁTIMA VILLALBA VARAS<sup>1</sup>

## Resumen

En el presente artículo se describe el diseño, desarrollo y caracterización de materiales basados en pastas de carbono grafito (PCG) y nanopartículas de oro (AuNP), orientados a la fabricación de plataformas de catálisis y de detección. Se detalla la obtención de AuNP, su caracterización y posterior inclusión en los electrodos de PCG. El objetivo principal de nuestro trabajo se enmarca en la obtención de electrodos modificados con las AuNP, con potencial aplicación en la determinación de analitos de interés en las industrias alimentaria y farmacéutica, tales como el ácido ascórbico (AA) y la dopamina (DA).

En este sentido, la respuesta electroquímica de AA y DA,

1 Directora del proyecto "Nanopartículas metálicas y minerales en el diseño y desarrollo de plataformas de bioconocimiento y catálisis". Doctora en Ciencias Químicas. FAyA (UNSE).

2 Licenciada en Química. Becaria doctoral CONICET. Instituto de Bionanotecnología del NOA (UNSE-CONICET).

sobre las superficies electródicas modificadas, fue estudiada en detalle. Para ello, las condiciones experimentales de preparación y operacionalidad de los electrodos fueron optimizadas en términos de pH, composición y concentración de soluciones. Asimismo, se determinaron los parámetros analíticos asociados a la detección de AA y DA (sensibilidad, rango de linealidad, límite de detección). La señal analítica fue obtenida a partir de la respuesta amperométrica de los respectivos analitos. Las técnicas empleadas para la detección de estos parámetros fueron la voltametría de pulso diferencial y la amperometría, esta última bajo condiciones de convección forzada. En el caso de la caracterización de la respuesta electroquímica, se utilizó la técnica de voltametría cíclica, mediante la cual se investigaron los mecanismos asociados a los procesos electroquímicos, procesos de adsorción y los mecanismos de transferencia de electrones en la superficie de los electrodos modificados.

Palabras clave: nanopartículas de oro; pasta de carbono; electroanálisis; dopamina; ácido ascórbico

## Abstract

This article describes the design, development and characterization of materials based on graphite carbon pastes (GCP) and gold nanoparticles (AuNP), aimed at the manufacture of catalysis and detection platforms. The obtaining of AuNP, its characterization, and subsequent inclusion in the GCP electrodes are detailed. The main objective of our work is framed in obtaining modified electrodes with AuNP, with potential application in the determination of analytes of interest in the food and pharmaceutical industry, such as ascorbic acid (AA) and dopamine (DA).

In this regard, the electrochemical response of AA and DA,

on the modified electrode surfaces, was studied in detail. For this, the experimental conditions of preparation and operation of the electrodes were optimized in terms of: pH and ionic strength of the medium, composition, and concentration of solutions. Likewise, the analytical parameters associated with the detection of AA and DA (sensitivity, linearity range, detection limit, stability, reproducibility, response time) were determined. The analytical signal was obtained from the amperometric response of the respective analytes. The techniques used for the detection of these parameters were differential pulse voltammetry and amperometry, the latter being under conditions of forced convection. In the case of the characterization of the electrochemical response, the cyclic voltammetry technique was used. Through the latter, the mechanisms associated with electrochemical processes, adsorption processes and electron transfer mechanisms on the surface of modified electrodes were investigated.

Keywords: gold nanoparticles; carbon paste; electroanalysis; dopamine; ascorbic acid

## Introducción

Los sensores electroquímicos son un tipo particular de sensores en los cuales el elemento transductor es un electrodo, el cual responde a cambios específicos en el potencial o en la corriente eléctrica como consecuencia de la presencia de una especie química que interactúa con él (Privett, 2008). Estos dispositivos (que aparecieron en la segunda mitad del siglo XX) se destacan por diversos factores, entre ellos: la utilización del flujo de electrones para la adquisición de señales analíticas, lo cual se considera una estrategia de análisis limpia, sin generación de residuos y con la posibilidad de miniaturización

de dispositivos portátiles (análisis empleando microvolúmenes de muestras); tiempos de respuesta rápidos y bajos costos de producción (Kimmel, 2012). Las áreas de aplicación de estos dispositivos son variadas y pueden involucrar tanto el diagnóstico clínico como el control de procesos automatizados y no automatizados en industrias, tales como la alimentaria y la farmacéutica. En estas últimas, el creciente interés por los sensores electroquímicos se enmarca en la complejidad cada vez mayor de la cadena de producción y comercialización, la que requiere el desarrollo de sistemas eficaces de trazabilidad que posibiliten un control de calidad más rápido, mediante análisis continuos o en línea. Por esta razón es necesario desarrollar e implementar instrumentos analíticos que sean compatibles con estas necesidades. Los sensores electroquímicos se presentan como dispositivos óptimos en términos de los requerimientos citados, en particular los basados en electrodos de pasta de carbono (EPC). Los EPC son electrodos compuestos que ofrecen potenciales ventajas en comparación con los tradicionales, los que consisten en una fase conductora simple. Entre estas ventajas podemos destacar una gran flexibilidad de fabricación, en cuanto al tamaño y forma del material. También tienen una relación señal/ruido más alta, lo que generalmente se traduce en mejores límites de detección (Mikysek, 2009). Incluso, estos electrodos han mostrado una excelente versatilidad en relación a la incorporación de especies que potencian la selectividad y/o sensibilidad. Esto puede deberse a la modificación química del conductor y/o del material aislante antes de que se fabrique el compuesto, o por la incorporación física de estas especies en la matriz del compuesto (Kalcher, 1990).

Por su parte, la incorporación de técnicas y conceptos relacionados con la nanociencia y la nanotecnología tiene un gran impacto en el rápido desarrollo de los sensores electroquímicos. Asociados a la nanotecnología, estos últimos son cada vez más precisos, selectivos, específicos y altamente sensibles.

En este contexto, la incorporación de nanopartículas de oro (AuNP) representa una estrategia ampliamente estudiada (Qin, 2018). Esto se debe a que las AuNP son muy estables, presentan alta biocompatibilidad y excelente conductividad eléctrica (Saha, 2012). La síntesis involucra, en general, la reducción de una sal de Au (III) en presencia de un agente estabilizante o protector, generalmente citrato o algún tiol, el cual se une a los átomos de oro expuestos en la superficie de la nanopartícula. Este agente protector determina la carga electrostática superficial de la nanopartícula (positiva o negativa) y, a su vez, estabiliza la suspensión coloidal debido a que previene el crecimiento descontrolado y la agregación de las nanopartículas (Saha, 2012).

La DA es uno de los neurotransmisores de monoaminas más importantes en el sistema nervioso central de los mamíferos (Chiodo, 1988). La determinación y detección de DA es de gran importancia para la investigación de sus funciones fisiológicas y el diagnóstico de enfermedades nerviosas resultantes de su metabolismo anormal, como la epilepsia, el Parkinson y la demencia senil (Suhito, 2019). El hecho de que la DA y otras catecolaminas sean compuestos fácilmente oxidables hace posible su detección por métodos electroquímicos basados en oxidación anódica.

Por otro lado, el AA es conocido como un antioxidante vital y juega un papel importante en el equilibrio del estrés oxidativo del cuerpo humano (Iqbal, 2004). También tiene propiedades antioxidantes y cumple un rol clave como vitamina en muchos procesos bioquímicos. El AA es un medicamento para el escorbuto, la intoxicación por fármacos, las enfermedades hepáticas, las reacciones alérgicas y la aterosclerosis, y ayuda a promover el desarrollo celular saludable, la absorción de calcio y el crecimiento normal de los tejidos. Además, se utiliza como antioxidante para la fabricación de jugos y bebidas gaseosas. Por lo tanto, la detección de AA es de gran importancia

en las industrias farmacéutica, clínica y alimentaria, y los métodos electroquímicos son los principales para su determinación analítica (Dhara y Debiprosad, 2019).

## **Materiales y métodos**

### *Reactivos y soluciones*

Para la preparación de los electrodos se utilizó polvo de grafito grado 38, de marca Fisher. El aceite mineral, AA, DA y el  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  fueron adquiridos en Sigma-Aldrich, EE. UU. El citrato de sodio,  $\text{NaH}_2\text{PO}_4$  y  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$ , fueron de marca Cicarelli. Se empleó una solución reguladora de fosfato 0,1 M a diferentes valores de pH (indicados en el texto) como electrolito de soporte. Se utilizó agua ultrapura (Milli Q, Millipore) para preparar todas las soluciones.

### *Síntesis de AuNP*

Las AuNP se obtuvieron de acuerdo al método descrito por Turkevich (1951), el cual se explica a continuación: 5 mL de citrato de sodio 0,06 M fueron agregados a 100 mL de una solución de  $\text{HAuCl}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  al 0,01%, la cual se encontraba en ebullición y con agitación mecánica, condiciones que se mantuvieron hasta que se observó un cambio de color desde el amarillo pálido al rojo vino.

Posteriormente a la síntesis, las soluciones coloidales se guardaron en la oscuridad, a 4° C.

Para comprobar que la síntesis haya sido satisfactoria, se registró el espectro UV-visible de las soluciones resultantes, mediante el empleo de un espectrofotómetro UV-visible Hewlett-Packard 8453 A con arreglo de diodos.

La distribución de tamaños de las nanopartículas se obtuvo a partir de fotografías adquiridas con un microscopio de trans-

misión electrónica (TEM, Transmission Electron Microscope) Jeol JEM 1220 EXII, acelerado con un voltaje de 80 kV.

### *Preparación de electrodo de pasta de carbono modificado con AuNP*

El polvo de grafito (PG) modificado con las AuNP (PG-AuNP) se obtuvo mezclando 100 mg de PG y diferentes volúmenes de las suspensiones de AuNP: 300, 600 y 1200  $\mu\text{L}$ ; y dejando secar las mezclas durante toda la noche a temperatura ambiente. Las pastas de carbono (PC) se prepararon mezclando manualmente (en un mortero de ágata, durante 30 min), el PG o PG-AuNP y un aceite mineral, en una proporción másica de 70/30. Se prepararon EPC, con o sin AuNP, empaquetando firmemente la pasta en la cavidad (2,0 mm de diámetro) de un tubo de teflón. Se utilizó un tornillo de cobre como contacto eléctrico externo. Antes de cada medición, se obtuvo una nueva superficie retirando una cierta cantidad de pasta y alisando el electrodo sobre un papel de pesar. Los EPC obtenidos con las diferentes PG-AuNP se denominaron: EPC-AuNP1, EPC-AuNP2 y EPC-AuNP3, con relación al volumen de suspensión de AuNP añadido a 100 mg de PG: 300, 600 y 1200  $\mu\text{L}$ , respectivamente. Las PC con un contenido superior a 1200  $\mu\text{L}$  de AuNP por cada 100 mg de PG no fueron estables en el tiempo y tampoco proporcionaron resultados reproducibles.

### *Medidas electroquímicas*

Los estudios de voltametría cíclica (VC), voltametría de pulso diferencial (VPD) y amperometría se llevaron a cabo en un sistema Autolab equipado con un potenciostato PGSTAT 30 y un paquete de software GPES / FRA 4.9 (Eco-Chemie, Utrecht, Holanda). Todos los experimentos electroquímicos se realizaron en una celda electroquímica de tres compartimentos.

Los electrodos de trabajo, EPC y EPC-AuNP, se prepararon tal como se indica en la sección anterior. Un alambre de platino de gran superficie fue utilizado como contraelectrodo. Todos los potenciales que se informan fueron determinados frente a un electrodo de referencia Ag | AgCl | Cl<sup>-</sup> (3 M). Los experimentos de VPD se realizaron a una velocidad de barrido de 0,02 V s<sup>-1</sup>, con una amplitud de potencial de pulso de 0,03 V, una frecuencia de 20 Hz y un período de 50 ms. En el caso de los experimentos de amperometría, estos se llevaron a cabo al potencial de oxidación seleccionado y empleando agitación mecánica constante. La concentración de AA y DA y los valores de pH de cada experimento se indican en el texto. Todos los experimentos se llevaron a cabo a temperatura ambiente.

## Resultados y discusión

### *Caracterización de las AuNP mediante espectroscopía UV-vis y TEM*

El espectro de absorbancia registrado para la suspensión coloidal de AuNP evidenció la banda correspondiente a la resonancia de los plasmones superficiales (figura 1), cuyo  $\lambda_{\max}$  se sitúa alrededor de los 520 nm, lo cual es característico para los coloides de oro (Amendola, 2017); este resultado indica una síntesis satisfactoria. Además, la banda no presentó ensanchamiento o corrimiento hacia longitudes de onda mayores, lo que nos permite concluir que las AuNP se encuentran aisladas en la suspensión coloidal.

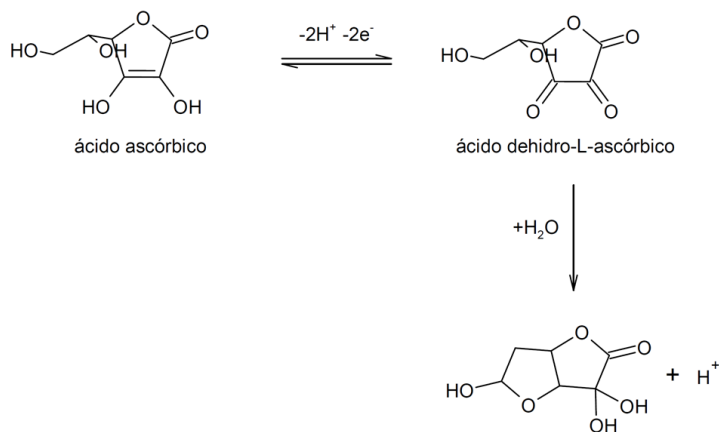
El tamaño y la forma de las AuNP son características muy importantes que influyen en sus aplicaciones y propiedades. La forma y el diámetro de las AuNP sintetizadas se obtuvieron a partir de la imagen TEM y su correspondiente histograma de distribución de tamaño. Como se muestra en el inserto de la figura 2, las AuNP resultaron esféricas con un diámetro prome-



dio de  $12 \pm 0,5$  nm.

### *Electro-oxidación de AA*

El mecanismo de oxidación del AA (esquema 1) ha sido ampliamente estudiado y se sabe que implica una transferencia reversible de electrones acoplada a reacciones químicas irreversibles, dando lugar a un proceso general irreversible: la oxidación del AA implica la liberación de dos electrones y dos protones, para producir ácido deshidroascórbico (Hu y Kuwana, 1986). En las siguientes subsecciones, se estudia el efecto de la incorporación de las AuNP en las PC sobre la corriente de pico (ip,a) y el potencial de pico ( $E_{p,a}$ ), ambos anódicos, y se analiza en detalle el mecanismo de oxidación de AA.



Esquema 1. Esquema de reacción de AA.

*Efecto de la cantidad de AuNP sobre  $i_{p,a}$  y  $E_{p,a}$* 

La figura 3 muestra los voltamogramas de pulso diferencial para cada electrodo modificado, registrados en AA 0,1 mM, preparado en fosfato 0,1 M (pH 7,0). En todos los casos, la inclusión de AuNP en el EPC da como resultado una disminución del  $E_{p,a}$  y un aumento de la  $i_{p,a}$ . Estos resultados demuestran que las AuNP actúan como electrocatalizadores, facilitando la transferencia de electrones entre el AA y el electrodo.

Ghoereishi y colaboradores (2012) demostraron que un EPC modificado con AuNP tiene una actividad electrocatalítica muy eficaz hacia la oxidación de triptófano, ácido úrico y AA. Sin embargo, no analizaron el mecanismo de electro-oxidación del AA sobre estas superficies. En nuestras condiciones de trabajo, de acuerdo con la señal de corriente obtenida para la oxidación de AA y la reproducibilidad de los resultados, el electrodo modificado óptimo fue EPC-AuNP3. El  $E_{p,a}$  disminuye de 0,30 V para EPC a 0,22 V para EPC-AuNP3, mientras que  $i_{p,a}$  aumenta de 2,2 a 6,3  $\mu\text{A}$ , respectivamente.

Teniendo en cuenta estos resultados, todos los experimentos siguientes se llevaron a cabo con este electrodo modificado (EPC-AuNP3).

*Efecto de la velocidad de barrido*

La influencia de la velocidad de barrido potencial ( $\nu$ ) en la reacción de oxidación, factor clave en el estudio del mecanismo de electrocatálisis, fue analizada por VC (figura 4). Los experimentos se realizaron en AA 1 mM preparado en fosfato 0,1 M (pH 7,0).

A medida que  $\nu$  aumenta de 0,01 a 0,20  $\text{V s}^{-1}$ ,  $i_{p,a}$  sigue un comportamiento lineal con la raíz cuadrada de  $\nu$ , lo cual sugiere que a un sobrepotencial suficientemente alto, la oxidación electroquímica del AA está controlada por el transporte de masa (Bard y Faulkner, 2000).

Por otro lado,  $E_{p,a}$  se desplaza a valores más positivos, con dependencia lineal en  $\log v$  (inserto en figura 4), a medida que  $v$  aumenta; esto indica una limitación cinética en el proceso de oxidación electroquímica (Tulli, 2019). El valor de  $\alpha n\alpha$  (donde  $\alpha$  es el coeficiente de transferencia y  $n\alpha$  el número de electrones involucrados en el paso determinante de la velocidad) se calculó de acuerdo con la ecuación 1 (Takeuchi y Murray, 1985):

$$\alpha n\alpha = \frac{0.048}{E_{p,a} - E_{p,a/2}} \quad \text{ecuación 1}$$

El valor obtenido para  $\alpha n\alpha$  fue 0.52. Comparando este valor con el obtenido para un EPC sin modificar, 0,20 (Raof, 2003) y 0,19 (Raof, 2006), se puede señalar que la velocidad del proceso de transferencia de electrones mejora notablemente sobre el EPC-AuNP. Además,  $\alpha n\alpha = 0,52$  indica que, en la oxidación electroquímica global del AA, el paso de determinación de la velocidad está controlado por la transferencia del electrón (Banks, 2005).

### *Efecto del pH*

El efecto del pH sobre la respuesta electroquímica del AA sobre EPC-AuNP3 fue analizado mediante VC. La figura 5 muestra los voltamogramas cíclicos registrados en AA 1 mM, preparado en fosfato 0,1 M a diferentes valores de pH, en el rango de 2,0 a 10,0. A medida que aumenta el pH, el  $E_{p,a}$  cambia a valores más altos. La dependencia de  $E_{p,a}$  con el pH (inserto en la figura 5) se puede describir mediante la ecuación de Nernst (Bard y Faulkner, 2000) (ecuación 2):

$$E_{p,a} = E^o + \left(\frac{0,059}{n}\right) \log \left[ \frac{(\text{Ox})^a}{(\text{Red})^b} \right] - \left(0,059 \frac{m}{n}\right) \text{pH} \quad \text{ecuación 2}$$

donde  $n$  y  $m$  representan el número de electrones y protones involucrados en la reacción de oxidación, y  $a$  y  $b$  son los coefi-

cientes estequiométricos de los reactivos involucrados.

Los resultados muestran dos regiones de dependencia lineal entre  $E_{p,a}$  y el pH (Tulli, 2019). Para la primera región, entre pH 2,0 y 4,0, la pendiente es  $-0,061$  V/pH. La segunda zona, comprendida entre pH 4,0 y pH 10,0, se describe mediante una pendiente de  $-0,037$  V/pH. Según la ecuación 2,  $E_{p,a}$  cambiará en  $0,059$  V/pH cuando la relación entre el número de protones y electrones sea igual a 1 y  $0,029$  V/pH para 1/2. Si se considera que la oxidación electroquímica de AA en solución acuosa implica la pérdida de dos electrones (Zare, 2005), ocurre, en consecuencia, una transferencia de dos protones en la reacción redox de pH 2,0 a 4,0 y un protón de pH 4,0 a 10,0. A partir de la intersección de estos dos segmentos lineales, el valor de  $pka_1$  se estima como  $\approx 4$ , valor esperado para la disociación del primer protón (Chen, 2005). El  $i_{p,a}$  aumenta a medida que disminuye el pH, lo que sugiere el papel relevante de los protones en el mecanismo de electro-oxidación de AA, que alcanza su valor máximo alrededor de pH 4,0. Los valores más bajos de  $i_{p,a}$  a un pH más alto (entre 6,0 y 10,0) se pueden atribuir a la pérdida de estabilidad del AA en condiciones menos ácidas. Sin embargo, a pesar de este hecho, la señal de corriente a pH 7,0 es suficiente para dar lugar a una apropiada señal analítica. Por este motivo, este valor fue seleccionado como pH de trabajo, debido a la importancia de la detección del anión monoascorbato en los diagnósticos clínicos (Bonastre y Bartlett, 2010).

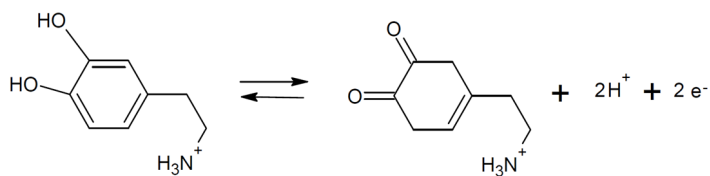
### *Propiedades analíticas*

Para verificar la capacidad de detección del EPC modificado con AuNP, se realizaron experimentos de VPD para diferentes concentraciones de AA (100 a 400  $\mu$ M, figura 6) en el mismo electrolito de soporte y pH que en la figura 4. La respectiva curva de calibración analítica (insertada en la figura 6) dio como resultado una sensibilidad de  $(6,3 \pm 0,2) \times 10^{-2} \mu$ A  $\mu$ M<sup>-1</sup>.

El límite de detección ( $2,7 \mu\text{M}$ ) fue calculado de acuerdo a  $3 \times \text{SD}/s$  (Pisoschi, 2011), donde SD es la desviación estándar de la corriente promedio obtenida después de diez mediciones de  $100 \mu\text{M}$  AA, y  $s$  es la sensibilidad dada por el valor de la pendiente experimental de la curva de calibración. Por otro lado, se obtuvo un límite de cuantificación de  $9 \mu\text{M}$  según  $10 \times \text{SD}/s$  (Pisoschi, 2011). Estos valores están en el orden de los reportados previamente para un EPC modificado con AuNP (Límite de detección =  $2,05 \mu\text{M}$ ) (Ghoereishi, 2012), y son más bajos que los encontrados para un EPC sin modificar (Límite de detección =  $20 \mu\text{M}$  y Límite de cuantificación =  $68 \mu\text{M}$ ) (Pisoschi, 2011). Por su parte, el rango de linealidad resultó ser  $9 - 400 \mu\text{M}$  ( $R^2 = 0,999$ ) y la estabilidad de la medida, en un periodo de uso de 2 meses, fue del 92 %.

#### *Electro-oxidación de DA*

El mecanismo de reacción, generalmente propuesto para la oxidación anódica de la dopamina, implica la formación de un radical semiquinona después de una reacción de transferencia de dos electrones con posterior desprotonación (Schindler y Bechtold, 2019). A fin de verificar ese mecanismo, se llevaron a cabo estudios sobre la respuesta electroquímica mediante VC, variando la  $v$  y el pH. En todos los casos se utilizó el EPC-AuNP3.



Esquema 2. Esquema de reacción de DA.

*Efecto de la velocidad de barrido*

La figura 7 presenta los voltagramas cíclicos registrados en una solución de dopamina 10  $\mu\text{M}$  preparada en fosfato 0,1 M (pH 7,0) a velocidades de barrido comprendidas entre 0,01 y 0,10  $\text{Vs}^{-1}$  sobre EPC-AuNP3. A medida que  $\nu$  aumenta, también lo hace  $i_{p,a}$ . Los resultados indican que existe una dependencia lineal de  $i_{p,a}$  con  $\nu$ . Esto sugiere que el proceso de oxidación está controlado por la adsorción de alguna de las especies que participan en el proceso.

Por otro lado, a medida que  $\nu$  aumenta,  $E_{p,a}$  también lo hace, y sigue un comportamiento lineal con  $\log \nu$ . El ajuste lineal de estos datos proporciona una pendiente igual a 133,15 mV/ $\log \nu$ .

Este comportamiento puede ser descrito mediante la ecuación de Laviron, ecuación 3 (Bard y Faulkner, 2000; Paz Zanini, 2015), la cual a su vez posibilita el cálculo de los parámetros  $k_s$ ,  $n$  y  $\alpha$ :

$$E_{p,a} = E^0 - \frac{2,303RT}{(1-\alpha)nF} \log \frac{RTk_s}{(1-\alpha)nF} + \frac{2,303RT}{(1-\alpha)nF} \log \nu$$

A partir de la pendiente indicada, considerando la ecuación 3 y utilizando un valor de  $\alpha$  de 0.71 (Sekar, 2015), encontramos que el valor de  $n$  es igual a 2, lo que permite confirmar el mecanismo de electro-oxidación propuesto (Schindler y Bechtold, 2019), mientras que el valor de  $k_s$  fue de  $(3,6 \pm 0,3) \text{ s}^{-1}$ . El valor de  $k_s$  obtenido es mayor al informado para un electrodo de pasta de carbono, pero modificado con nanopartículas de dióxido de titanio,  $k_s = (2,36 \pm 0,13) \text{ s}^{-1}$  (Mazloum-Ardakani, 2010); esto demuestra el rol clave de las AuNP en el incremento de transferencia de electrones entre el DA y el electrodo.

### *Efecto del pH*

El pH de la solución afecta a la ionización de DA y probablemente afecte al proceso de adsorción superficial. La dependencia del  $E_{p,a}$  con el pH fue estudiada mediante VPD. Los voltogramas fueron registrados en DA fosfato 0,1 M, a diversos valores de pH (figura 8). Con el aumento del pH, el  $E_{p,a}$  se desplaza en dirección negativa, lo que constituye la verificación de la participación de los protones en la reacción que tiene lugar sobre la superficie del electrodo. El comportamiento observado para  $E_{p,a'}$  también en este caso, puede ser descrito mediante la ecuación de Nernst (ecuación 2).

La pendiente del gráfico de  $E_{p,a}$  vs pH que resulta (-0,06 V/pH, con  $R^2 = 0,997$ ) está próxima al valor teórico de 0,0598 V/pH según la ecuación de Nernst. Esto sugiere que, en nuestras condiciones de trabajo, el número de protones y de electrones implicados en el proceso es igual en todo el rango de pH (Baig y Kawde, 2016).

Por otro lado, la mejor respuesta amperométrica se alcanza a pH = 2,0. Sin embargo, para fines analíticos, las determinaciones se realizan a pH 7,0 por ser el valor de pH que corresponde al valor del pH fisiológico (Meijiao, 2014).

### *Propiedades analíticas*

La respuesta del EPC-AuNP3 frente a diferentes concentraciones de DA fue analizada mediante experimentos de amperometría. La figura 9 muestra el amperograma obtenido por agregado de alícuotas de una solución estándar de DA. A partir de las corrientes estacionarias obtenidas para las diferentes concentraciones de DA, se confeccionó la correspondiente curva de calibración (inserto en figura 9).

La sensibilidad obtenida a partir de la pendiente de la curva de calibración fue de  $0,075 \pm 0,020 \mu A / \mu M$ . El límite de detección, calculado de manera similar a la descrita en la sec-

ción 3.2.4, fue de  $0,2 \mu\text{M}$ , mientras que el de cuantificación se informó en  $0,7 \mu\text{M}$ . Por su parte, el rango de linealidad está comprendido entre  $0,7$  y  $175 \mu\text{M}$  ( $R^2 = 0,9908$ ), mientras que la estabilidad de la medida, en un periodo de uso de 2 meses, fue del 93 %.

## Conclusiones

La utilización de electrodos de pasta de carbono representa una opción simple y económica en el diseño de sensores electroquímicos. Sin embargo, muchas veces se requiere la modificación de la misma a fin de optimizar los parámetros de medida (cinéticos y/o analíticos).

Por otro lado, las propiedades químicas y físicas únicas de las AuNP las hacen sumamente adecuadas para diseñar dispositivos de detección mejorados, como es el caso de los sensores electroquímicos. En este sentido, la inclusión de AuNPs involucra un procedimiento sencillo, rápido, reproducible y eficaz.

En el presente texto, se describe la utilización de electrodos de pasta de carbono para la detección electroquímica de AA y de DA. Los resultados, en ambos casos, demostraron que las señales de oxidación de AA y de DA aumentan notablemente en electrodos de pasta de carbono modificados con AuNP. La alta sensibilidad, el límite de detección submicromolar, la simplicidad en el proceso de preparación y la fácil regeneración de la superficie del electrodo, así como la estabilidad y reproducibilidad a largo plazo, hacen que este electrodo sea muy útil como un sensor eficaz para la determinación de AA y de DA.

Adicionalmente, los bajos potenciales de oxidación y las apropiadas corrientes de oxidación observadas tanto para DA como para AA resultan sumamente promisorios hacia la potencial utilización de estos sensores electroquímicos en la apli-



cación en muestras reales.

Por otra parte, la comparación de los parámetros cinéticos de las reacciones electroquímicas estudiadas,  $\alpha n_{\alpha}$  para el caso de la electro-oxidación del AA y  $k_s$  para la DA, con resultados previamente informados en bibliografía, demuestran claramente que las AuNP actúan como electrocatalizadores, puesto que facilitan la transferencia de electrones entre los analitos estudiados y el electrodo

## Bibliografía

- Amendola, Vincenzo; Pilot, Roberto; Frasconi, Marco; Marago, Onofrio; Iati, María Antonia (2017). "Surface plasmon resonance in gold nanoparticles: a review". *Journal of Physics: Condensed Matter*, (29), 1-48.
- Baig, Nadeem; Kawde, Abdel (2016). "A cost-effective disposable graphene-modified electrode decorated with alternating layers of AuNPs for the simultaneous detection of dopamine and uric acid in human urine". *RSC Advances*, (84), 80756-80765.
- Banks, Craig; Compton, Richard; Wantz, Frederic (2005). "Direct oxidation of ascorbic acid at an edge plane pyrolytic graphite electrode: a comparison of the electroanalytical response with other carbon electrodes". *Electroanalysis*, (17), 1529-1533.
- Bard, Allen; Faulkner, Larry (2000). *Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications* (2a. ed.) EE. UU.: Wiley.
- Bonastre, Alejandro; Bartlett, Philip (2010). "Electrodeposition of PANi films on platinum needle type microelectrodes. Application to the oxidation of ascorbate in human plasma". *Analytica Chimica Acta*, (676), 1-8.
- Chen, Wei; Lin, Xinhua; Huang, Liying; Luo, Hongbin (2005). "Electrochemical characterization of polymerized cresol red film modified glassy carbon electrode and separation of electrocatalytic responses for ascorbic acid and dopamine oxidation". *Microchimica Acta*, (151), 101-107.
- Chiodo, (1988). "Dopamine-containing neurons in the mammalian central nervous system: Electrophysiology and pharmacology". *Neuroscience and Biohevioral Reviews*, (12), 49-91.
- Dhara, Keerthy; Debiprosad, Roy (2019). "Review on nanomaterials-enabled electrochemical sensors for ascorbic acid detection". *Analytical Biochemistry*, (586), 113415.
- Ghoereishi, Sayed; Behpou, Mohsen; Saeidinejad, Faezeh (2012). "Electrochemical determination of tryptophan, uric

- acid and ascorbic acid at a gold nanoparticles modified carbon paste electrode". *Analytical Methods*, (4), 2447-2453.
- Hu, Feng; Kuwana, Theodore (1986). "Oxidative mechanism of ascorbic acid at glassy carbon electrodes". *Analytical Chemistry*, (58), 3235-3239.
- Iqbal, Khalid; Khan, Alam; Khattak, Muzaffar (2004). "Biological significance of ascorbic acid (vitamin C) in human health – A review". *Pakistan Journal of Nutrition*, (3), 5-13.
- Kalcher, Klaudius (1990). "Chemically modified carbon paste electrodes in voltammetric analysis". *Electroanalysis*, (2), 419-433.
- Kimmel, Danielle; LeBlanc, Gabriel; Meschievitz, Mika; Cliffler, David (2012). "Electrochemical Sensors and Biosensors". *Analytical Chemistry*, (84), 685-707.
- Mazloum-Ardakani, Mohammad; Rajabi, Hossein; Beitollahi, Hadi; Mirjalili, Bi Bi Fatemah; Akbari, Ali; Taghavinia (2010). "Voltammetric determination of dopamine at the surface TiO<sub>2</sub> nanoparticles modified carbon paste electrode". *International Journal of Electrochemical Science*, (5), 147-157.
- Meijiao, Li; Mei, Tao; Zhang, Chang; Wang, Xianbao (2014). "Selective and sensitive electrochemical detection of dopamine based on water-soluble porphyrin functionalized graphene nanocomposites". *RCS Advances*, (4), 9261-9270.
- Mikysek, Tomás; Svancara, Ivan; Kalcher, Kurt; Bartos, Martin; Vytras, Karel; Ludvik, Jiri (2009). "New approaches to the characterization of carbon paste electrodes using the ohmic resistance effect and qualitative carbon paste indexes". *Analytical Chemistry*, (81), 6327-6333.
- Paz Zanini, Verónica; Giménez, Rodrigo; Linarez Pérez, Omar; López de Mishima, Beatriz; Borsarelli, Claudio (2015). "Enhancement of amperometric response to tryptophan by proton relay effect of chitosan adsorbed on glassy carbon electrode". *Sensors and Actuators B*, (209), 391-398.
- Pisoschi, Aurelia; Pop, Aneta; Negulescu, Gheorghe; Pisoschi, Aurel (2011). "Determination of ascorbic acid content of some fruit juices and wine by voltammetry performed at Pt

- and carbon paste electrodes". *Molecules*, (16), 1349–1365.
- Privett, Benjamin; Shin, Jae Ho; Schoenfisch, Mark (2008). "Electrochemical Sensors". *Analytical Chemistry*, (12), 4499–4517.
- Qin, Lei; Zeng, Guangming; Lai, Cui; Huang, Danlian; Xu, Piao; Zhang, Chen; Cheng, Min; Liu, Xigui; Liu, Shiyu; Li, Bisheng; Yi, Huan (2018). "Gold rush in modern science: Fabrication strategies and typical advanced applications of gold nanoparticles in sensing". *Coordination Chemistry Reviews*, (359), 1–31.
- Raof, Jahan-B; Ojani, Reza; Kiani, Abolpazi (2003). "Ferrocene spiked carbon paste electrode and its application to electrocatalytic determination of ascorbic acid". *Bulletin of Electrochemistry*, (19), 17–22.
- Raof, Jahan-B; Ojani, Reza; Beitollahi, Hadi; Hosseinzadeh, Rahman (2006). "Electrocatalytic determination of ascorbic acid at the surface of 2,7-bis(ferrocenyl ethyl)fluoren-9-one modified carbon paste electrode". *Electroanalysis*, (18), 1193–1201.
- Saha, Krishnendu; Agasti, Sarit; Kim, Chaekyu, Kim; Li, Xiaoning; Rotello, Vincent (2012). "Gold nanoparticles in chemical and biological sensing". *Chemical Reviews*, (112), 2739–2779.
- Schindler, Sabrina; Bechtold, Thomas (2019). "Mechanistic insights into the electrochemical oxidation of dopamine by cyclic voltammetry". *Journal of Electroanalytical Chemistry*, (836), 94–101.
- Sekar, Chinnathambi; Lavanya, Nehru; Kandasami, Asokan (2015). "WO<sub>3</sub> nanoparticles based direct electrochemical dopamine sensor in the presence of ascorbic acid". *Electrochimica Acta*, (167), 294–302.
- Suhito, Intan; Angeline, Novi; Kim, Tae-Hyung (2019). "Nanomaterial-modified hybrids platforms for precise electrochemical detection of dopamine". *BioChip Journal*, (13), 20–29.
- Takeuchi, Esther; Murray, Royce (1985). "Metalloporphyrin containing carbon paste electrodes". *Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry*, (188), 49–57.

- Tulli, Fiorella; Paz Zanini, Verónica; Fernández, Juan; Martino, Débora; López de Mishima, Beatriz; Borsarelli, Claudio (2019). "Influence of electrostatic interactions induced via a nanocomposite film onto a glassy carbon electrode used for highly selective and sensitive ascorbic acid detection". *Journal of the Electrochemical Society*, (166), B742-B747.
- Turkevich, John; Stevenson, Peter; Hillier, James (1951). "A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold". *Discussions of the Faraday*, (11), 55-75.
- Velasco, Juan (1997). "Determination of standard rate constants for electrochemical irreversible processes from linear sweep voltammograms". *Electroanalysis*, (9), 880-882.
- Zare, Hamid; Ardakani, Mohammad; Namazian, Mansoor; Golabi, Mahmoud (2005). "Norepinephrine-modified glassy carbon electrode for the simultaneous determination of ascorbic acid". *Electrochimica Acta*, (50), 3495-3502.

## Figuras

Figura 1. Espectro de absorción de las AuNP sintetizadas.

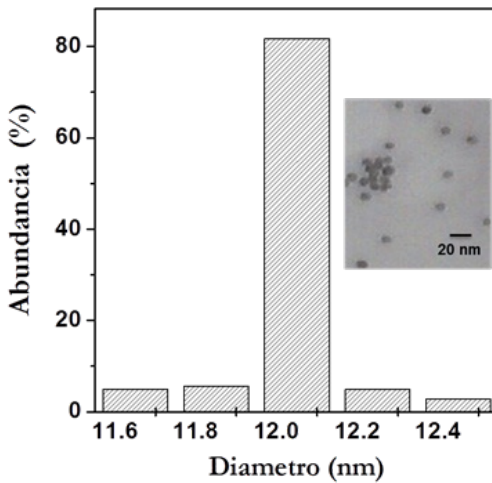
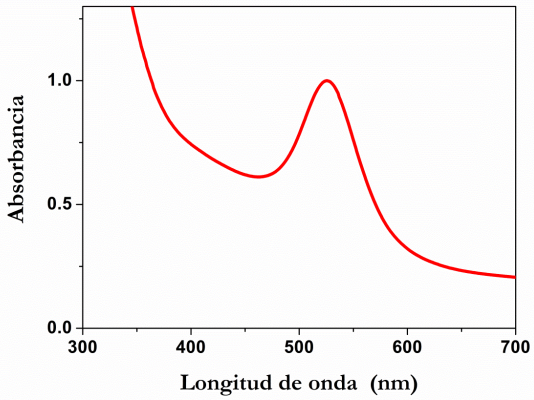


Figura 2. Histograma de distribución de tamaños. Inset: Imagen TEM de las AuNP sintetizadas.

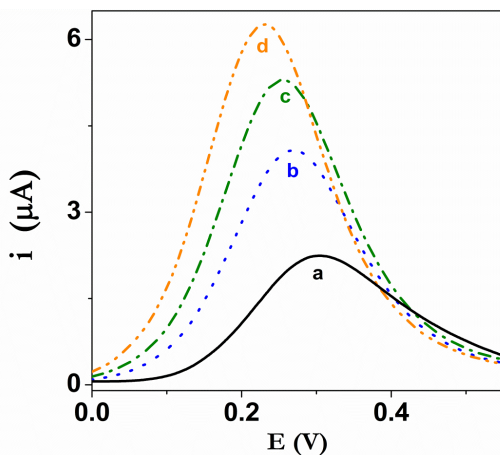


Figura 3. Voltagramas de pulso diferencial para (a) EPC, (b) EPC-AuNP1, (c) (b) EPC-AuNP2 y (d) EPC-AuNP3 registrados en AA 0,1 mM, preparado en fosfato 0,1 M (pH 7,0).

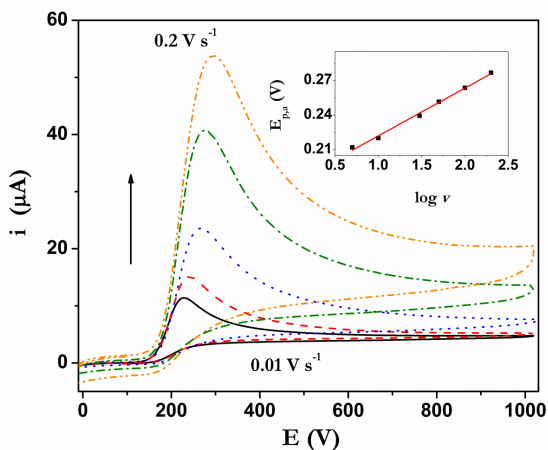


Figura 4. Voltamogramas cíclicos registrado sobre EPC-AuNP3, en AA 1 mM preparado en fosfato 0,1 M (pH 7,0). Inset:  $E_{p,a}$  versus  $\log v$ . Velocidad de barrido: 0,10  $Vs^{-1}$ .

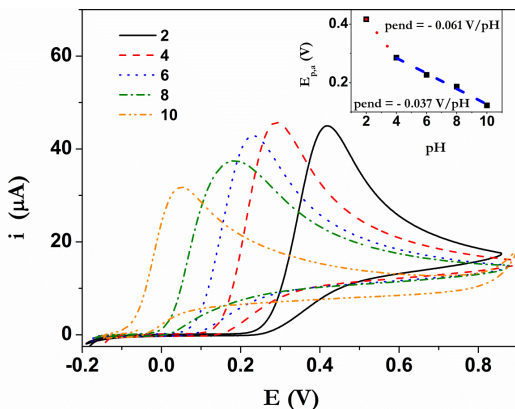


Figura 5. Efecto del pH sobre la respuesta electroquímica del AA. Voltagramas cíclicos registrados sobre EPC-AuNP3 en AA 1 mM, preparado en fosfato 0,1 M a diferentes valores de pH, en el rango de 2,0 a 10,0. Inset:  $E_{p,a}$  versus pH. Velocidad de barrido: 0,10  $\text{V s}^{-1}$ .

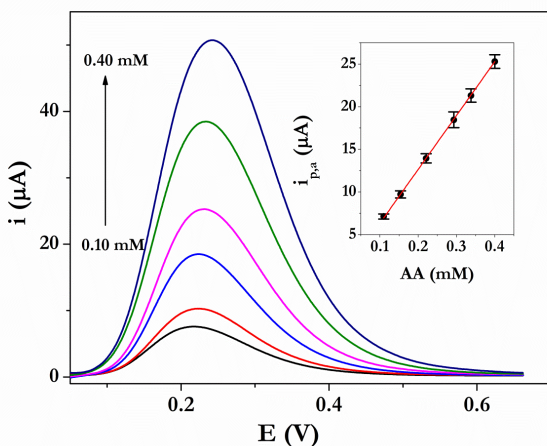


Figura 6. Voltagramas de pulso diferencial registrados sobre EPC-AuNP3 para diferentes concentraciones de AA. Electrolito soporte: fosfato 0,1 M (pH 7,0). Inserto: curva de calibración correspondiente.



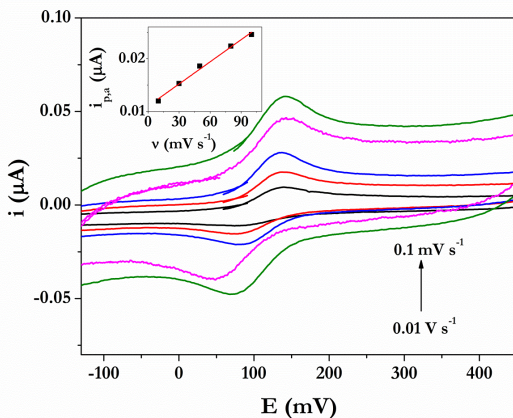


Figura 7. Voltamogramas cíclicos registrado sobre EPC-AuNP3, en DA 10  $\mu\text{M}$  preparada en fosfato 0,1 M (pH 7,0). Inserto:  $i_{p,a}$  versus  $v$ . Velocidad de barrido: 0,10  $\text{V s}^{-1}$ .

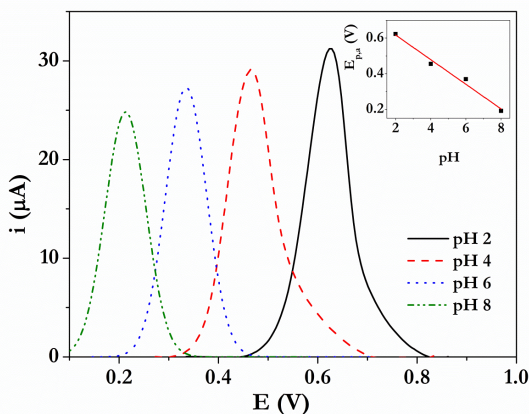


Figura 8. Efecto del pH sobre la respuesta electroquímica del DA. Voltamogramas de pulso diferencial registrados sobre EPC-AuNP3 en DA 1 mM, preparada en fosfato 0,1 M a diferentes valores de pH, en el rango de 2,0 a 8,0. Inset:  $E_{p,a}$  versus pH.

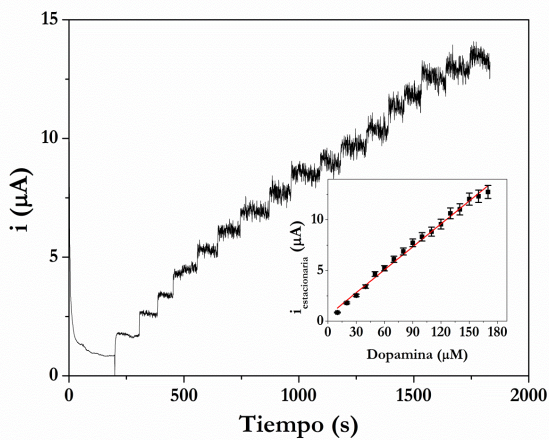


Figura 9. Perfil corriente – tiempo registrado tras el agregado de alícuotas de una solución estándar de DA. Electrolito soporte: fosfato 0,1 M (pH 7,0). Inset: curva de calibración correspondiente.

ISBN 978-987-4456-27-4



9 789874 456274