



# Desarrollo sostenible

en el centro norte  
de la provincia de Santa Fe

## 3. Ambiente



**Ana María Canal**  
directora

**Horacio Rodríguez · Leticia Rodríguez**  
editores del volumen

ediciones **UNL**



# Desarrollo sostenible

en el centro norte  
de la provincia de Santa Fe

## **3.** Ambiente

Ana María Canal  
directora

Horacio Rodríguez  
Leticia Rodríguez  
editores del volumen

**ediciones UNL**

CIENCIA Y TECNOLOGÍA

**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL LITORAL**

Rector  
**Enrique Mammarella**  
Secretario de Planeamiento  
Institucional y Académico  
**Miguel Irigoyen**



Consejo Asesor  
Colección Ciencia y Tecnología  
**Graciela Barranco**  
**Ana María Canal**  
**Miguel Irigoyen**  
**Gustavo Ribero**  
**Luis Quevedo**  
**Ivana Tosti**  
**Alejandro R. Trombert**

Dirección editorial  
**Ivana Tosti**  
Coordinación editorial  
**María Alejandra Sedrán**  
Coordinación diseño  
**Alina Hill**  
Coordinación comercial  
**José Díaz**

Diagramación interior y tapa  
**Verónica Rainaudó**

© Ediciones UNL, 2021.

—  
Sugerencias y comentarios  
[editorial@unl.edu.ar](mailto:editorial@unl.edu.ar)  
[www.unl.edu.ar/editorial](http://www.unl.edu.ar/editorial)

Ambiente /  
Leticia Rodríguez ... [et al.] ; coordinación  
general de Verónica Reus ... [et al.] ;  
dirigido por Ana María Canal ; editado  
por Horacio Rodríguez ; Leticia Rodríguez ;  
prólogo de Enrique J. Mammarella.  
– 1a ed.– Santa Fe : Ediciones UNL, 2021.  
Libro digital, PDF – (Ciencia y Tecnología)

Archivo Digital: descarga y online  
ISBN OC 978–987–749–281–1  
ISBN Vol 3 978–987–749–286–6

1. Producción. 2. Desarrollo Humano.  
3. Energía Renovable. I. Rodríguez, Leticia,  
ed. II. Reus, Verónica, coord. III. Canal,  
Ana María, dir. IV. Rodríguez, Horacio, ed.  
V. Mammarella, Enrique J., prolog.  
CDD 338.01

---

© del prologuista,  
Enrique J. Mammarella, 2021.

Dirección  
**Ana María Canal**  
Coordinación general  
**Verónica Reus**  
**Eduardo Picco**  
**Priscila Fernández**  
**Carolina Revuelta**

Ilustración de tapa  
**Beatriz Martín, patrimonio MAC-UNL**  
Adaptación de ilustración  
**Dpi Santa Fe**



## **Autoras y autores de este volumen**

Adam, Claudia  
Alberdi, Ramiro  
Altamirano, Gabriela A.  
Álvarez León, Camilo A.  
Amavet, Patricia S.  
Argaraña, María Fernanda  
Arzamendia, Vanesa  
Attademo, Andres Maximiliano  
Banús, Ezequiel D.  
Barrilis, Natalia  
Beccaria, Alejandro J.  
Beldoménico, Horacio R.  
Bellini, Gisela  
Berros, María Valeria  
Bertero, Melisa  
Bracalenti, María Agostina  
Brandi, Rodolfo  
Bravo, María Virginia  
Brogioni, Marco  
Brusa, Lucila  
Bussato, Carlos A.  
Cabello, Julieta V.  
Cacik, Pablo  
Cafaro, Diego C.  
Capello, Romina  
Chemes, Silvina  
Contini, Guillermo  
Cornaglia, Laura  
Cossy, Edgar  
Cristiani, Mariana  
D'Elia, Mónica  
Dalla Costa, Bruno O.  
Dalmazzo, Milagros  
Demonte, Luisina D.  
Devard, Alejandra  
Estenoz, Diana A.  
Fabiano, Silvia N.  
Faroldi, Betina  
Fernandez, María Pía  
Fiorenza Biancucci, Gabriela  
Flores, Marina  
Gagneten, Ana María  
Galoppo, Germán H.  
Ghiberto, Pablo  
Giraudó Alejandro Raúl  
Gomez, Ayelén L.  
Graciani, Silvio  
Guerrero, Sergio A.  
Gugliotta, Luis M.  
Gutiérrez, Laura B.  
Hämmerly, Rosana  
Henning, Gabriela  
Hernández, Silvia R.  
Húmpola, Pablo D.  
Iglesias, Alberto A.  
Imhof, Alba  
Imhoff, Silvia  
Ingaramo, Paola Inés  
Kass, Laura  
Kergaravat, Silvina V.  
Kröhling, Daniela M.  
Labas, Marisol  
Lajmanovich, Rafael C.  
Larriera, Alejandro  
Latorre Rapela, María Gabriela  
Lazzarino, Gisela Paola  
Leva, Perla E.  
López, Javier Alejandro  
López, Emiliano  
Lorenzón, Rodrigo Ezequiel  
Lovino, Miguel A.  
Luque, Enrique Hugo  
Maggioni, Darío A.  
Manuale, Débora

Marchese, Mercedes  
Marchesini, Albana  
Márquez, Vanina  
Martín, Carlos  
Michlig, Melina P  
Michlig, Nicolás  
Mihura, Enrique R.  
Milt, Viviana G.  
Minari, Roque J.  
Miró, Eduardo E.  
Modini, Laura  
Moreno, Betzabet  
Müller, Gabriela V.  
Müller, Omar V.  
Múnera, John  
Muñoz de Toro, Mónica  
Odetti, Héctor S.  
Olmos, Graciela  
Paoli, Carlos G.  
Paredes, Ma. Victoria  
Paris, Marta  
Passalía, Claudio  
Pedraza, Raúl A.  
Peltzer, Paola M.  
Pensiero, José Francisco  
Pereira, Soledad  
Pérez, Marcela  
Plano, María Fernanda  
Polla, Wanda  
Prodoliet, Jorge  
Querini, Carlos A.  
Ramonell, Carlos G.  
Ramos, Jorge Guillermo  
Recce, Carlos  
Regaldo, Luciana  
Repetti, María R.  
Rodríguez, Horacio

Rodríguez, Leticia  
Rossetti, María Florencia  
Rossi, Liliana  
Rueda, Eva C.  
Salto, César  
Scarabotti, Pablo  
Schimdt, Erica  
Schlotthauer, Jonatan  
Scioli, Carlos C.  
Sedran, Ulises  
Serra, Pablo  
Sgroi, Leandro C.  
Sigrist, Mirna  
Simoniello, María Fernanda  
Stoker, Cora  
Strasser, Ruth  
Studdert, Claudia  
Taleb, Claudia  
Tarditi, Ana  
Tavaliere, Yamil E.  
Teitelman, Sebastián  
Thalmeier, Belén  
Toffoli, Guillermo D.  
Torresi, Pablo  
Traba, Luis  
Vaccari, María Celia  
Veizaga, Emiliano A.  
Venencio, María del Valle  
Venturini, Virginia  
Vera, Mariana  
Vionnet, Carlos  
Walker, Elisabet  
Yori, Juan Carlos  
Zalazar, Cristina  
Zerbatto, Mariel G.  
Zucarelli, Viviana

Este libro fue posible gracias al aporte del Programa de Fortalecimiento 2018 de la Secretaría de Políticas Universitarias (SPU), del Ministerio de Educación, Cultura, Ciencia y Tecnología de la Nación.

# Índice

## **Prólogo**

*Enrique Mammarella* / **12**

## **Introducción / 12**

Referencias bibliográficas de la introducción / **14**

## **CAPÍTULO 1. Energías renovables–biorrefinerías / 15**

Introducción / **15**

Herramientas biológicas y moleculares para estrategias de biorrefinerías / **18**

Investigación y desarrollo de procesos de producción de biodiésel

y aprovechamiento de subproductos del proceso / **28**

Generación de productos sustitutos de hidrocarburos

a partir de biomasa lignocelulósica residual / **32**

Hidrógeno como vector de energía. Producción

a partir de materias primas renovables de la región / **35**

Referencias bibliográficas del capítulo 1 / **38**

## **CAPÍTULO 2. Procesos y productos sustentables / 42**

Introducción / **42**

Híbridos látex–proteínas / **45**

Síntesis e inmovilización de nanopartículas metálicas en hidrogel/aerogel

de celulosa para aplicaciones catalíticas y biocidas / **50**

Empleo de biomateriales fibrosos de la región para el desarrollo de estructuras

catalíticas aplicables al tratamiento de efluentes gaseosos industriales / **53**

Síntesis de nuevos materiales iónicos sobre la base estructural de líquidos

iónicos. Correlación entre la estructura de estos materiales, sus propiedades

fisicoquímicas y las tareas específicas para los que fueron diseñados / **57**

Desarrollo de materiales poliméricos y tecnologías sustentables basados

en el uso de fuentes renovables regionales / **61**

Referencias bibliográficas del capítulo 2 / **66**

## **CAPÍTULO 3. Gestión del riesgo / 70**

Introducción / **70**

Riesgo químico / **70**

Riesgo hídrico / **93**

Referencias bibliográficas del capítulo 3 / **119**

#### **CAPÍTULO 4. El agua como recurso. Disponibilidad y monitoreo / 128**

Introducción / **128**

Variabilidad y cambio climático en la provincia de Santa Fe:

observaciones y proyecciones futuras / **132**

Identificación de eventos extremos y su incidencia en subsistemas acoplados zona no saturada–acuifero libre mediante la construcción de índices estandarizados / **135**

Efectos de la expansión de cultivos sobre la regulación hídrica y climática en Argentina / **138**

Desarrollo metodológico para el modelado y monitoreo de la evapotranspiración utilizando diferentes fuentes de datos / **141**

Desarrollo de un algoritmo para determinar el contenido de humedad del suelo desde imágenes SAR / **144**

Un datalogger energéticamente eficiente basado en código y hardware abiertos, su uso en una WSN para detectar parámetros ambientales / **148**

La cuenca interprovincial de los Bajos Submeridionales y su funcionamiento hidroambiental, base para la gestión sustentable / **150**

El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas rurales en el centro de la provincia de Santa Fe / **155**

El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas urbanas de la provincia de Santa Fe / **157**

Procesos naturales de transformación de la calidad de agua freática en humedales ribereños / **160**

Balance hídrico superficial como herramienta de gestión / **163**

Referencias bibliográficas del capítulo 4 / **169**

#### **CAPÍTULO 5. Efectos del ambiente sobre la salud humana y animal / 175**

Introducción / **175**

Contaminantes ambientales en la provincia de Santa Fe y salud humana / **178**

Efecto del glifosato y sus formulados comerciales sobre el desarrollo de órganos reproductores y la fertilidad / **183**

Impactos de la agroindustria sobre la salud ambiental de los anfibios del centro este de Argentina en el contexto del desarrollo sustentable / **186**

Estrógenos ambientales y desarrollo y diferenciación mamaria / **190**

Contaminantes Ambientales Hormonalmente Activos. Efectos en el Sistema Reprodutor del Yacaré Overo (*Caiman latirostris*) / **193**

Efectos del ambiente sobre la salud humana y animal / **198**

Efectos del ambiente físico sobre la producción animal / **201**

Derecho Ambiental en la provincia de Santa Fe / **205**

Referencias bibliográficas del capítulo 5 / **211**



## **CAPÍTULO 6. Biodiversidad y desarrollo sustentable / 222**

- Biodiversidad: concepto, funciones, importancia y amenazas / **222**
- Diversidad de insectos de ambientes ruderales / **229**
- Diversidad de fitoplancton / **232**
- Diversidad de zooplancton y su valor como bioindicador / **236**
- Diversidad de peces e interacciones / **241**
- Diversidad de anfibios / **247**
- Diversidad de reptiles, aves y mamíferos / **254**
- Gestión de áreas naturales en el centro norte de la provincia de Santa Fe / **259**
- Diversidad genética de especies faunísticas / **261**
- Recomendaciones / **264**
- Referencias bibliográficas del capítulo 6 / **266**
- Autoras y autores de este capítulo / **278**

## **CAPÍTULO 7. Ciclo de vida de productos: tecnología para la gestión y el reciclado de diversos residuos / 279**

- Introducción / **279**
- Valorización de residuos agroindustriales para la obtención de productos sustentables / **281**
- Tratamiento de residuos pecuarios y residuos sólidos urbanos en el centro norte de la provincia de Santa Fe / **290**
- Gestión integral de envases de agroquímicos / **296**
- Tratamiento de efluentes líquidos en áreas urbanas.
- Uso de microorganismos de interés biotecnológico / **302**
- Referencias bibliográficas del capítulo 7 / **311**

## Prólogo

*Enrique Mammarella*<sup>1</sup>

El siglo XXI es, desde su inicio, el siglo del conocimiento, caracterizado por la rápida evolución de todas las disciplinas frente a la necesidad de enfrentar y resolver problemas nuevos que no siempre pudieron ser previstos en el curso de su formación inicial. En este contexto, posiblemente el desafío que más englobe a las universidades públicas en este siglo sea el de contribuir significativamente a la construcción de una sociedad más igualitaria, basada en el conocimiento, que afronte con eficacia y equidad los problemas de la región, profundizando el perfil de sus actividades de investigación a la solución de problemas sociales y del medio productivo, entendiendo que la coproducción de conocimientos con actores sociales o productivos, los vínculos con actores estratégicos de la región y el mundo en materia de I+D+i y extensión, son centrales al momento de planificar el desarrollo en ciencia y tecnología.

Esta ha sido una preocupación permanente de la Universidad Nacional del Litoral, hija del movimiento reformista que en 1918 proclamó al país y a toda América Latina sus ideas de comunidad universitaria libre y abierta, políticamente autónoma y aseguradora del carácter estatal de la enseñanza universitaria. Forjada con una marcada vocación regional, hoy, la Universidad Nacional del Litoral, con su asiento principal en la ciudad de Santa Fe y su desarrollo prioritario en el sitio territorial centro norte de la provincia de Santa Fe en su doble rol de sujeto–parte de la sociedad y sujeto–transformador de la misma, proyecta su accionar a toda la provincia, las provincias vecinas y la nación, y mantiene como premisa extenderse al medio, hablarle a la comunidad, vincularse y comprometerse con la región, innovando en materia de educación e investigación.

Para cumplir con este cometido, la Universidad Nacional del Litoral promueve la investigación científica ética y responsable, la innovación y el desarrollo tecnológico, y la construcción de redes de conocimiento interinstitucionales, con enfoques trans e interdisciplinarios, garantizando la calidad y el rigor teórico–metodológico para generar nuevo conocimiento, recuperar, revalorizar y proteger los conocimientos y saberes tradicionales y ancestrales, en un marco del respeto a la diversidad, la equidad epistémica y el diálogo de saberes, democratizando el acceso, uso y aprovechamiento de los mismos, fomentando la apropiación social y el cierre de brechas cognitivas. Así se constituye en uno de los principales polos de investigación científica y de

---

1 Rector de la Universidad Nacional del Litoral.

desarrollo tecnológico del país. Al mismo tiempo que ha forjado y consolidado una alianza estratégica con el Conicet para fortalecer en conjunto las actividades de investigación y desarrollo en la región, cuenta con un plantel de 1746 docentes–investigadores, dispone de centros, institutos y laboratorios modernos y equipados, a lo que se suma una relevante capacidad institucional para la administración eficiente de los fondos para investigación y para transferencia de los resultados obtenidos en las actividades de investigación, desarrollo e innovación.

Producto de una política autónoma y comprometida de producción científica, en este libro titulado *Desarrollo sostenible en el centro norte de la provincia de Santa Fe* se resume el producto de gran parte de las investigaciones desarrolladas por nuestros docentes–investigadores en los últimos años a través de proyectos que integran el Programa CAI+D de la UNL, como contribución para el desarrollo sostenible y la elaboración de políticas públicas en el territorio en el que nuestra Universidad desarrolla integralmente sus actividades académicas sustantivas. Quienes recorran esta obra, dividida en cuatro secciones: Desarrollo humano, Sistemas productivos, Ambiente y Estado y Políticas públicas, se encontrarán con diagnósticos y propuestas sobre hábitat, gestión urbana y urbanización, enfermedades prevalentes y desatendidas, salud animal, gestión del riesgo, efectos del ambiente sobre la salud, sistemas agropecuarios sostenibles, agronegocios, biodiversidad y desarrollo sustentable, agua, alimentos, energías renovables, procesos y productos sustentables, ciclo de vida de productos, sistemas de información para organizaciones productivas, educación, género y políticas de igualdad, sistema político, representaciones y reforma política, gobernabilidad, participación ciudadana y desarrollo institucional y seguridad ciudadana y prevención de la violencia y el delito.

Deseamos que este libro sea una contribución que aporte respuestas a las necesidades de la sociedad y a los problemas de la región, y que pueda constituirse en la base para la generación de políticas públicas que respondan a los problemas emergentes y al desarrollo del gobierno provincial y de los gobiernos locales.

## Introducción

Horacio Rodríguez<sup>1</sup> y Leticia Rodríguez<sup>1</sup>

Nuestra civilización está atravesando una crisis global de escala cuya magnitud y gravedad no es cabalmente comprendida por gran parte de la población (Novo y Ángeles–Murga, 2010). La naturaleza y la humanidad son perturbadas por causas y efectos de problemáticas ambientales, algunas de ellas de carácter irreversible, que crean sentimientos de incertidumbre frente al futuro. A pesar de reconocerse la responsabilidad de la humanidad en muchos de los daños causados, en ocasiones se interpreta que los efectos son solo en el sistema natural, sin repercusión en el social.

Consciente de las crecientes problemáticas ambientales que afectan al planeta, la comunidad de naciones integrantes de las Naciones Unidas y otros organismos internacionales, trabaja desde hace años en el diseño de planes con el fin de poner fin a la pobreza, proteger el planeta y mejorar las vidas y las perspectivas de las personas en todo el mundo

En el año 2015 todos los Estados Miembros de las Naciones Unidas aprobaron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que integran la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que estableció un conjunto de acciones tendientes a lograr los ODS en un plazo de 15 años.

Los ODS son: 1. Fin a la pobreza; 2. Hambre cero; 3. Salud y bienestar; 4. Educación de calidad; 5. Igualdad de género; 6. Agua limpia y saneamiento; 7. Energía asequible y no contaminante; 8. Trabajo decente y crecimiento económico; 9. Industria, innovación e infraestructuras; 10. Reducción de las desigualdades; 11. Ciudades y comunidades sostenibles; 12. Producción y consumo responsables; 13. Acción por el clima; 14. Vida submarina; 15. Vida de ecosistemas terrestres; 16. Paz, justicia e instituciones sólidas; 17. Alianzas para lograr los objetivos. Estos objetivos se interrelacionan entre sí e incorporan los desafíos globales presentes en el día a día, como la pobreza, la desigualdad, el clima, la degradación ambiental, la prosperidad, la paz y la justicia.

El *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018* (Naciones Unidas, 2018) revé el progreso en el tercer año de implementación de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, y destaca el progreso alcanzado y los desafíos restantes hacia el logro de los 17 Objetivos basándose en datos de sus países miembros. Una de las conclusiones es que la tasa de progreso mundial no está logrando seguirle el ritmo a la Agenda para cumplir con sus ambiciones. Sirvan algunos ejemplos para dar cuenta de esta situación. Respecto

---

1 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

al Objetivo 6, Agua limpia y saneamiento, en 2015, el 29 % de la población mundial no contaba con suministros de agua potable gestionados de manera segura y el 61 % carecía de servicios de saneamiento gestionados de manera segura; y solo el 27 % de la población en los países menos adelantados contaba con instalaciones básicas para lavarse las manos. Considerando el Objetivo 7. Energía asequible y no contaminante, el informe destaca que la tasa de fuentes renovables en el consumo de energía final tuvo un crecimiento moderado de 17,3 % en 2014 a 17,5 % en 2015. A pesar de ello, solo 55 % de la porción renovable se originó a partir de formas modernas de energía renovable. Sobre el Objetivo 12. Producción y consumo responsables, al año 2018 existían algunos indicios positivos, por ejemplo, un total de 108 países tenían políticas nacionales e iniciativas pertinentes al consumo y producción sostenibles.

Tal vez uno de los objetivos que más difusión e impacto en la opinión pública global tiene es el Objetivo 13, referido al cambio climático y sus efectos. El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes, altera las economías nacionales y afecta a distintas vidas. El año 2017 fue uno de los tres más cálidos desde que se cuenta con registros. El análisis para el quinquenio 2013–2017 realizado por la Organización Meteorológica Mundial indica que la temperatura mundial promedio fue la mayor registrada, el nivel de los mares continuó aumentando, y las condiciones climáticas extremas continúan acelerándose en algunas regiones del planeta. Esta situación requiere de la intervención urgente y acelerada de los países a medida que implementan sus compromisos con el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático.

El cumplimiento de los ODS es sumamente importante para el futuro de la civilización. Hasta el presente, ha habido progresos en muchos lugares del mundo, pero, en general, las medidas adoptadas hacia la concreción de los ODS todavía no avanzan a la velocidad ni en la escala necesarias. El pasado año, el Secretario General de las Naciones Unidas ha realizado un fuerte llamado a los países y partes interesadas para impulsar la implementación de medidas concretas para el cumplimiento de los 17 Objetivos a través de la adopción de medidas inmediatas y aceleradas.

Alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) es una tarea de grandes proporciones, en la que las universidades tienen un papel protagonista en su apoyo y cumplimiento. ¿Cómo puede la universidad contribuir a ello? Cada universidad definirá cómo actuar, dependiendo de su misión y visión, su estructura, sus capacidades de investigación y transferencia, entre otras características. En las páginas que siguen la Universidad Nacional del Litoral muestra sus fortalezas y la gran diversidad de resultados en investigación en

Energías renovables y biorefinerías, Procesos y productos sustentables, Gestión del riesgo, El agua como recurso, Efectos del ambiente en la salud, Biodiversidad y Ciclo de vida de productos, temáticas estrechamente vinculadas a las prioridades y las necesidades del entorno local, regional y nacional, en consonancia con numerosos de los 17 Objetivos del Desarrollo Sostenible. Sobre la base de sus capacidades científico-técnicas, la Universidad está en un proceso continuo de búsqueda de nuevas formas de vinculación con el territorio, a fin de poner el conocimiento y la educación al servicio del desarrollo económico y social sustentables.

### **Referencias bibliográficas de la introducción**

- Naciones Unidas (2018). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>
- Novo, M. y Ángeles Murga, M. (2010). Educación ambiental y ciudadanía planetaria. *Revista Eureka*, 7 (n° extraordinario).

# Capítulo 1. Energías renovables–biorrefinerías

## Introducción

Leticia Rodríguez <sup>1</sup>

En la Conferencia de París sobre el Clima, celebrada en diciembre de 2015 y conocida como COP21, los líderes de 195 países firmaron un acuerdo vinculante mundialmente sobre el clima. Este acuerdo establece un plan de acción mundial que pone el límite del calentamiento global por debajo de los 2 °C entre 2020 y 2030. A pesar de los acuerdos y objetivos trazados a nivel global, en noviembre de 2019, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) anunció que se alcanzaron niveles récord de concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, y no hay indicios de desaceleración visibles. Como consecuencia, la OMM hizo un llamado a los gobiernos a hacer más para revertir la dependencia de los países de la energía proveniente de combustibles fósiles, en línea con el Acuerdo de París sobre el Cambio Climático de 2015.

El Objetivo 7 de los ODS: *Energía asequible y no contaminante*, se relaciona con lo anterior, ya que propende a garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos. Para reducir emisiones de gases de efecto invernadero, en los últimos 10–15 años muchos países han apoyado el uso de biocombustibles a través de incentivos para el desarrollo de energías renovables. Se entiende por energías renovables a aquellas fuentes energéticas basadas en la utilización del viento, el agua, el sol o la biomasa vegetal o animal, entre otras. A diferencia de las energías convencionales, no utilizan combustibles fósiles sino recursos capaces de renovarse ilimitadamente. Su impacto ambiental es menor y sus beneficios van desde la diversificación de la matriz energética de un país hasta el fomento a la industria nacional; el desarrollo de las economías regionales y el impulso al turismo.

Argentina es una de las regiones más favorecidas con una multiplicidad de condiciones para la implementación de diversos tipos de energías renovables, entre los que se destacan los biocombustibles. La provincia de Santa Fe presenta un gran potencial para el desarrollo de los mismos dado su perfil agropecuario y agroindustrial. Además, ya desde 2005 la provincia cuenta con la ley 12503, sobre Energías renovables alternativas: régimen legal de su uso y generación, acompañando la tendencia mundial a través de un marco normativo. Dicha ley declara de interés provincial la generación y el uso de ener-

---

1 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

gías alternativas o blandas a partir de la aplicación de las fuentes renovables en todo el territorio de la provincia. En el ámbito nacional, la ley 26093 (Ley de Biocombustibles) y su decreto reglamentario (109/2007), establecen el corte obligatorio de biocombustibles en los combustibles líquidos, mientras que la ley 26190 (Ley de Energías Renovables) fomenta el uso de fuentes renovables de energía destinada a la producción de electricidad. Este marco normativo tanto nacional como provincial señala el incentivo al desarrollo del sector.

Según datos de la Secretaría de Energía de la Nación, en los primeros ocho meses de 2018 la provincia de Santa Fe produjo 1 304 424 m<sup>3</sup> de biodiésel, comparados con 290 224 m<sup>3</sup> de la provincia de Córdoba, cifras que demuestran la importancia de la participación provincial en el contexto nacional. Esa producción se sustenta por la presencia en territorio provincial de las mayores empresas de producción de biodiésel. En el Gran Rosario se localiza el 78 % de la capacidad teórica de procesamiento nacional de semillas oleaginosas, una de las materias primas de los biocombustibles. Según describe la Bolsa de Cereales de Rosario, en los 70 km de costa que van desde Arroyo Seco a Timbúes se localizan 29 terminales portuarias, de las cuales 19 despachan granos, aceites y subproductos, contando 12 de ellas con fábricas procesadoras propias. Además, existen otras ocho fábricas aceiteras en la zona, totalizando 20 industrias que demandan poroto para fabricar aceite y harina, entre otra multiplicidad de derivados oleaginosos. En el año 2016 el polo exportador del Gran Rosario superó a todos los demás clusters del mundo, incluido el Distrito Aduanero de Nueva Orleans (EE. UU.) y el nodo portuario de Santos (Brasil).

En este marco normativo y frente a la oportunidad que implica la dimensión del sector, el biodiésel aparece como un combustible con ventajas medioambientales: por un lado, reduce la dependencia de los combustibles fósiles —cuyas reservas son finitas— y, por otro, contribuye a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) como el dióxido de carbono y el dióxido de azufre. Además, se puede contribuir de manera significativa al abastecimiento energético. A pesar de las ventajas señaladas, los biocombustibles también presentan algunas desventajas asociadas a los subproductos que se generan durante su producción, y al uso de métodos químicos con escasa incorporación de herramientas biológicas. Es importante aquí distinguir entre las diferentes generaciones de biocombustibles. Los llamados de primera generación son creados a partir de cultivos alimentarios, es el caso de la soja, el maíz, entre otros. Los de segunda generación en cambio, son fabricados a partir de biomasa derivada de materiales vegetales (cultivos leñosos, residuos agrícolas o material vegetal de desecho de cultivos destinados a la alimentación que ya cumplieron su propósito alimentario) o animales (sus grasas). Por último, los de tercera generación tam-



poco compiten con la dieta alimentaria, y entre ellos se encuentran el biodiésel de aceite microbiano, el bioetanol y biohidrógeno de residuos lignocelulósicos.

Diferentes grupos de investigación de la UNL trabajan desde hace años en problemáticas referentes a energías renovables, especialmente biocombustibles de diferentes generaciones, con variados enfoques. A través de sus investigaciones buscan contribuir a resolver estos desafíos a partir del concepto de biorrefinería, que además tiene aplicaciones multifuncionales. En tal sentido, se desarrollan procesos biotecnológicos industriales no solo para la producción de combustibles, sino también de energía, lubricantes, adhesivos, polímeros y diversos productos químicos a partir de biomasa. De esta forma, el concepto de biorrefinería busca la reconversión integral de las refinerías del petróleo, con el uso de herramientas biológicas.

Tal como describen en más detalle diferentes contribuciones que integran este capítulo, el desarrollo de procedimientos adecuados de biorrefinerías requiere de la obtención de diferentes organismos vivos y biomoléculas que puedan ser aplicados eficientemente en diversos procesos industriales. En este sentido, existen investigaciones que exploran la generación de herramientas biológicas y moleculares para la obtención de biocombustibles, bioplásticos y otros productos químicos a partir de biomasa de distintos orígenes. Otros estudios, en cambio, se orientan a la generación de biomasa y sistemas enzimáticos con alta eficiencia catalítica de utilidad en la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación. Este tipo de biomasa no compete con la aplicación en la industria alimentaria y con el uso de estrategias transgénicas y recombinantes. Por otro lado, se han desarrollado procesos de mejora de la calidad del biodiésel como es la presencia de sólidos que producen el frecuente tapado y averías de filtros en automotores.

Paralelamente, el uso del hidrógeno como combustible y vector de energía es otra de las energías renovables de interés público y a la que se orientaron investigaciones de la UNL. Los trabajos desarrollados desde hace varios años buscan métodos novedosos y económicos para la generación, separación y purificación del hidrógeno, tomando como desafío su producción a partir del reformado de bioetanol y el de biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono). Además de hidrógeno, los gases que resultan de las reacciones de reformado contienen  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  y agua, que pueden alimentarse directamente a celdas de combustibles de alta temperatura (tipo SOFC) para la producción de energía.

Las secciones siguientes desarrollan en más detalle las diferentes aproximaciones que emplean grupos de investigación de la Universidad, cuyos resultados contribuyen a la mejora en la producción de energías renovables como los biocombustibles de primera, segunda y tercera generación y, por ende, impactos positivos en el medio ambiente.

## Herramientas biológicas y moleculares para estrategias de biorrefinerías

*Alejandro J. Beccaria,<sup>2</sup> Julieta V. Cabello,<sup>3</sup> Claudia Studdert,<sup>3</sup> Sergio A. Guerrero<sup>3</sup> y Alberto A. Iglesias<sup>3</sup>*

Con un basamento en la petroquímica, la industria tuvo un desarrollo y consolidación relevante durante el siglo pasado. El refinado del petróleo permitió la obtención de materias primas para la producción de combustibles, solventes y lubricantes, así como de materiales para una amplia variedad de aplicaciones, como fibras sintéticas, plásticos, adhesivos, fertilizantes y compuestos farmacéuticos. Los notables avances alcanzados por la química orgánica y la petroquímica modificaron positivamente la manufactura de bienes y recursos de uso cotidiano, que había comenzado con la revolución industrial (Iglesias, 2015). Sin embargo, las bondades alcanzadas por tal desarrollo industrial tienen limitaciones y existen problemáticas importantes que son acuciantes y reclaman la reconversión de los procedimientos utilizados (Joyce y Stewart, 2012; Iglesias, 2015). Concretamente, la petroquímica tiene problemas de sustentabilidad y de generación de productos y residuos que son conflictivos con el mantenimiento de un equilibrio ecológico adecuado. Hay tres hechos principales que determinan críticamente la problemática arriba establecida: I. Las reservas de petróleo son finitas y obligan a planificar la generación de fuentes alternativas renovables para satisfacer las demandas crecientes de energía y materiales que son aportadas por aquel. II. El uso de combustibles fósiles genera gases que contribuyen marcadamente al efecto invernadero. Esta generación no está balanceada adecuadamente por procesos (principalmente biológicos) que los consuman, con lo cual agravan el problema del cambio climático que conlleva consecuencias negativas complejas de resolver y hasta de predecir. III. Los materiales sintéticos (como los plásticos) son marcadamente recalcitrantes a la degradación, lo que los posiciona como desechos complicados de ser procesados para evitar sus efectos nocivos al medio ambiente. Esto se agrava porque las actividades industriales también generan residuos químicos tóxicos difíciles de manipular (Iglesias, 2015).

Una de las primeras iniciativas para alcanzar la reconversión de los procedimientos de la petroquímica llevó al desarrollo de metodologías para producir biocombustibles, siendo la obtención de bioetanol (a partir de almidones y azúcares solubles) y la de biodiésel (a partir de grasas y aceites naturales) los

---

2 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

3 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL, Instituto de Agrobiotecnología del Litoral (IAL) (CONICET-UNL).

ejemplos más notorios (Iglesias, 2015). Si bien estos biocombustibles (denominados de primera generación) constituyen una respuesta importante, tienen asociados algunos inconvenientes como los relacionados a los subproductos que generan y a que en gran medida el componente «bio» está limitado principalmente al material de partida, pero siguen manejando métodos químicos con escaso uso de herramientas biológicas. Una visión más amplia, que busca resolver estos inconvenientes pero que también abarca estrategias multifuncionales, está dada por el concepto de biorrefinería. Esto último implica el desarrollo de procesos biotecnológicos industriales no solo para la producción de combustibles, sino también de energía, lubricantes, adhesivos, polímeros y diversos productos químicos a partir de biomasa (Hasunuma *et al.*, 2013; Iglesias, 2015). De esta forma, el concepto de biorrefinería busca la reconversión integral de las refinerías del petróleo, con el uso de herramientas biológicas. Claramente, el desarrollo de procedimientos adecuados de biorrefinerías requiere de la obtención de diferentes organismos vivos y biomoléculas que puedan ser aplicados eficientemente en diversos procesos industriales (Iglesias, 2015).

El desplazamiento hacia el desarrollo de estrategias de biorrefinerías, así como a la generación y uso de energías renovables, incluyendo las bioenergías (Cherubini, 2010), no escapa en la región centro norte santafesina a cuestiones globales, donde la motivación para su estudio científico-técnico y el incentivo a su aplicación, se vieron ralentizadas por aspectos económicos y políticos. Sin embargo, puede vislumbrarse un creciente interés en el desarrollo de las mismas, a través de la creación de entes, como la Subsecretaría de Energías Renovables de la provincia, y programas específicos provinciales, tales como el Programa «Digestión + Activa», cuyo objetivo es volver funcionales los biodigestores instalados en la provincia, y el Programa «Producción + Energética», a fin de promover la implementación de proyectos de generación de bioenergías, entre otros. A estos programas provinciales se suman diferentes proyectos de investigación de la UNL que abordan el tema de las biorrefinerías desde distintos enfoques. Estos proyectos exploran la generación de herramientas biológicas y moleculares para la obtención de biocombustibles, bioplásticos y otros productos químicos a partir de biomasa de distintos orígenes. En este sentido, son relevantes los estudios en la búsqueda y selección de cepas microbianas (Clebot *et al.*, 2019) y su mejora mediante herramientas de ingeniería metabólica (Piattoni *et al.*, 2013) a fin de mejorar el uso de ciertos sustratos o incrementar los rendimientos de productos (Giordano *et al.*, 2014), entre otros. El estudio incluye la optimización de los procesos de cultivos de tales cepas (Giordano *et al.*, 2010, 2014) y de las etapas extractivas. También se exploró y se está trabajando en la optimización de la bioconver-

sión de glicerol en polihidroxicanoatos (Escobar *et al.*, 2018) por parte de una bacteria autóctona aislada del Mar Argentino (D’Ippolito *et al.*, 2011). El carácter halotolerante de esta cepa permite diseñar y poner a prueba procesos sustentables y de potencial bajo costo, al poder prescindir del uso masivo de agua potable y reducir costos de esterilización. Los polihidroxicanoatos son polímeros que representan una materia prima importante en la industria de los bioplásticos. Algo similar se está realizando con cepas de actinobacterias oleaginosas (Cereijo *et al.*, 2016), capaces de procesar el glicerol para producir polímeros de interés, así como distintos tipos de compuestos lipídicos. Por otra parte, se están desarrollando estudios para la generación de biomasa (Cabello *et al.*, 2013, 2016, 2017; Muchut *et al.*, 2018) y de sistemas enzimáticos (Sánchez-Santillán *et al.*, 2016) con alta eficiencia catalítica de utilidad en la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación (a partir de biomasa que no compite con la aplicación en la industria alimentaria y con el uso de estrategias transgénicas y recombinantes).

La visión a largo plazo establece, sin lugar a dudas, que la región centro norte santafesina tiene un potencial relevante porque sus capacidades productivas históricas involucran productos y subproductos que son materiales críticos en la generación de bioenergía, aptos de ser aplicados en biorrefinerías. A esto hay que agregarle la existencia de grupos de investigación y desarrollo de excelencia, con alto potencial en la generación de tecnologías limpias de alta compatibilidad con el cuidado medioambiental y la sustentabilidad.

A continuación, detallamos los trabajos en el área de la biorrefinería de nuestros grupos.

## Desarrollo de biorrefinerías para la valorización de glicerol crudo

El glicerol es una materia prima industrial, obtenido inicialmente como subproducto de la elaboración de jabones o incluso mediante fermentación con levaduras —a través de lo que se conoció como fermentación glicérica—. Actualmente, en virtud del fuerte desarrollo del proceso de producción de biodiésel a partir de triacilglicéridos, se lo obtiene como un subproducto de esta tecnología. Así, su actual sobreoferta, llevó a una fuerte caída de su precio y a una saturación de sus aplicaciones industriales habituales, por lo que, además de subproducto, una proporción se considera desecho (Beccaria *et al.*, 2012). De esta manera se vio estimulado el desarrollo de bioprocesos que apliquen glicerol crudo como materia prima, fundamentalmente como fuente de carbono y energía en cultivos microbianos. Así, se han propuesto tecnologías para la producción de diferentes sustancias en cultivos de microorganismos. Particularmente en este aspecto, se

comenzó a investigar sobre algunas producciones que involucran biocombustibles, biotransformaciones y proteínas recombinantes. En relación con los biocombustibles, se trabaja en la mejora de la acumulación de biomasa y aceites en células de microalgas oleaginosas cultivadas con glicerol. El aceite generado posee un perfil de ácidos grasos adecuados para la síntesis de biodiésel. También se evaluó la producción anaeróbica de biohidrógeno en cultivos de una cepa bacteriana recombinante suplementados con glicerol. Con respecto a las biotransformaciones, se trabajó en el desarrollo de una cepa bacteriana recombinante capaz de sobreexpresar la enzima glicerol deshidrogenasa (EC 1.1.1.6) a fin de convertir el glicerol suplementado en cultivos optimizados de la bacteria en dihidroxiacetona, un valioso producto con diferentes aplicaciones (Piattoni *et al.*, 2013). En relación con la posibilidad de empleo del glicerol para la producción de proteínas recombinantes en cultivos microbianos, se desarrollaron procesos de cultivos a fin de intensificar los rendimientos de una proteína recombinante modelo (Giordano *et al.*, 2010). De esta manera, se logró ajustar variables típicas de los bioprocesos que facilitan la extrapolación de los resultados a la producción optimizada de otras proteínas de interés analítico, farmacológico e industrial. Todas estas alternativas aplican para el desarrollo de biorrefinerías en donde la producción de biodiésel se integra con un bioproceso que implica el aprovechamiento del glicerol generado en el mismo u otros biocombustibles y en diferentes productos con valor agregado.

#### Producción de bioplásticos a expensas de glicerol

La cepa autóctona *Halomonas titanicae* KHS3 fue aislada a partir de las aguas del puerto de Mar del Plata en base a su capacidad de crecer y responder quimiotácticamente a hidrocarburos aromáticos (D'Ippolito *et al.*, 2011). Cuando se analizó su secuencia genómica completa (Gasperotti *et al.*, 2015) se encontraron genes para la síntesis de polihidroxialcanoatos. La creciente importancia de la industria de los bioplásticos, sumada al potencial biotecnológico que puede proveer una bacteria que tolera elevadas concentraciones de sal y por lo tanto puede utilizar agua no potable y presentar costos de esterilización reducidos, condujo a explorar la capacidad de esta cepa de acumular efectivamente esos polímeros.

En primer lugar, se verificó la capacidad de acumulación del polímero en condiciones estándares descritas previamente para otras cepas, esto es, en medios de cultivo con elevada concentración de glucosa (Rodríguez *et al.*, 2018). En esas condiciones, *H. titanicae* KHS3 llega a alcanzar densidades ópticas de hasta 14 unidades y acumula hasta un 60 % de su peso seco en

polihidroxibutirato puro, según fue determinado por análisis de Resonancia Magnética Nuclear (RMN). También se verificó su capacidad de sintetizar el copolímero polihidroxibutirato/hidroxivalerato, que presenta mejores propiedades termoplásticas, cuando se la cultivó en presencia de ácido propiónico en el medio de cultivo.

En segundo lugar, se evaluó la capacidad de acumulación de polímero cuando se la cultivó a expensas de glicerol como única fuente de carbono y energía. En este caso, la acumulación se observó a partir del momento en el que se sometió el cultivo a una seria limitación de la fuente de nitrógeno (Escobar *et al.*, 2018). La acumulación de polímero a expensas de glicerol y en condiciones de limitación de nitrógeno alcanzó niveles de hasta un 60 % del peso seco. El polímero obtenido fue caracterizado también como polihidroxibutirato. La acumulación se obtuvo tanto a partir de glicerol de pureza comercial, como a partir de glicerol crudo proveniente de reactores de producción de biodiésel. Asimismo, se observó acumulación de polímero en un rango de concentración salina entre 2 y 12,5 %, aunque la cinética de acumulación fue más lenta en presencia de elevadas concentraciones de sal. También se observó acumulación de polímero a distintas temperaturas y en ausencia de agitación. Actualmente se está trabajando en la evaluación y mejora de la eficiencia del proceso, así como en la posibilidad de utilizar aguas residuales de otros procesos en la formulación del medio de cultivo, y en la optimización de la producción del copolímero con hidroxivalerato en cultivos crecidos en presencia de glicerol y ácido propiónico.

Esta cepa también se mostró capaz de acumular polímero cuando utiliza el hidrocarburo aromático fenantreno como única fuente de carbono y es limitada en nitrógeno. La contribución de los dos genes de polihidroxicanoato sintasa presentes en el genoma de esta cepa está siendo evaluada a partir de la construcción de mutantes con cada uno de los genes interrumpidos, y el clonado de cada uno de los genes para su expresión en forma recombinante seguida de su caracterización enzimológica. Trabajos similares se están llevando a cabo sobre cepas de la actinobacteria oleaginosa del género *Rhodococcus* (Cereijo *et al.*, 2016), que tiene la particularidad de crecer en glicerol, almacenando transitoriamente glucógeno (que también serviría como fuente de glucosa para producir bioetanol) para luego utilizarlo para producir lípidos (triacilglicéridos y ceras; fuentes para biodiésel y biolubricantes) y polihidroxicanoatos (bioplásticos).

## Desarrollo de biorrefinerías para la valorización de residuos lignocelulósicos

La variedad de cultivos vegetales en la provincia genera material lignocelulósico con diferentes aplicaciones. Tal material puede, además, ser procesado a fin de generar hidratos de carbono asimilables por diferentes microorganismos en distintos bioprocesos. Esta estrategia está cobrando relevancia mundial en la producción fermentativa de etanol —denominado de segunda generación— aplicado como biocombustible. En relación con este tipo de biorrefinerías, se realizaron estudios de optimización de la etapa de hidrólisis de materiales vegetales de descarte (Giordano *et al.*, 2013). Los azúcares obtenidos han resultado aplicables en bioprocesos tales como la obtención de etanol de segunda generación —mediante fermentación con levaduras— (Duarte *et al.*, 2018) y aceites útiles para la elaboración de biodiésel en cultivos de microalgas oleaginosas (Giordano *et al.*, 2014).

En esta área específica también se están desarrollando herramientas moleculares de obtención de sistemas enzimáticos con alta eficiencia catalítica para degradar residuos lignocelulósicos. Esto busca resolver un problema crítico actual para la obtención de biocombustibles de segunda generación, basado en el alto grado recalcitrante de la lignocelulosa a ser hidrolizada. Así, se busca obtener enzimas por dos estrategias: por un lado, la obtención de microorganismos (individuales o consorcios de los mismos) productores de enzimas lignocelulósicas que expulsan al medio; y por otro, producir el clonado molecular de genes y la producción recombinante de estas enzimas. De esta forma, en el Laboratorio de Enzimología Molecular (LEM) del IAL se está optimizando el desarrollo de cultivos del bacilo esporulado Gram-positivo *Lysinibacillus sphaericus* y de un consorcio de microorganismos aislados de rumen bovino y liofilizado para su reconstitución y crecimiento (Sánchez-Santillán *et al.*, 2016). Respecto de las enzimas que se están produciendo en forma recombinante son principalmente del tipo: - Celulasas (EC 3.2.1.4; endo- $\beta$ -1,4-glucanasa), que catalizan la endo-hidrólisis de uniones  $\beta$ -1,4 glucosídicas en polímeros del tipo celulosa y también en aquellos que contienen uniones  $\beta$ -1,3 (ver <http://enzyme.expasy.org/EC/3.2.1.4>); -  $\beta$ -glucosidasas (EC 3.2.1.21), que catalizan la hidrólisis de enlaces  $\beta$ -glucosídicos desde el extremo no-reductor de polímeros del tipo celulosa liberando glucosa, exhibiendo amplia especificidad por  $\beta$ -D-glicósidos incluyendo galactósidos, arabinósidos, xilósidos y fucósidos (ver <http://enzyme.expasy.org/EC/3.2.1.21>); - Exo- $\beta$ -1,4-glucanasas (EC 3.2.1.91); celulosa  $\beta$ -1,4-celobiosidasa, que catalizan la exo-hidrólisis de uniones  $\beta$ -1,4-glucosídicas en polímeros del tipo celulosa liberando el disacárido celobiosa desde el extremo no-reductor (ver <http://enzyme.expasy.org/>

EC/3.2.1.91); - Endo- $\beta$ -1,4-xilanasas (EC 3.2.1.8) que catalizan la endo-hidrólisis de enlaces  $\beta$ -1,4-xilosídicos en el xilano (ver <http://enzyme.expasy.org/EC/3.2.1.8>). La acción degradante del xilano de estas enzimas puede ser complementado por las EC 3.2.1.72 que son similares respecto de la reacción que catalizan pero que son de tipo exo-, actuando sobre el extremo no-reductor del polímero; - Lacasas (EC 1.10.3.2), un grupo de enzimas conteniendo cobre de relativamente baja especificidad para catalizar una reacción de oxidación actuando sobre o- y p-quinoles así como sobre aminofenoles y fenilendiamina (ver <http://enzyme.expasy.org/EC/1.10.3.2>).

Obtención de plantas transgénicas con menor contenido de lignina, potencialmente útiles para la obtención de biocombustibles

Además (más adecuadamente en complementación) de la producción de sistemas enzimáticos de alta capacidad catalítica para obtener biocombustibles de biomasa lignocelulósica, resultan de utilidad estrategias de generación de plantas que contengan paredes con mayor (y más fácil) degradabilidad por hidrólisis. Las paredes de las células vegetales son la única fuente de celulosa para la industria del papel y sería la mejor fuente de azúcares para la obtención de biocombustibles (Carroll y Somerville, 2009). La utilización de las plantas para convertir la energía solar en energía almacenable y transportable tendría un impacto positivo sobre el medioambiente y podría colaborar a reducir drásticamente la utilización de combustibles derivados de fósiles, lo que reduciría las emisiones de carbono a la atmósfera. A pesar de los beneficios a nivel medioambiental, los costos de la producción de biocombustibles son extremadamente elevados y los responsables de este aumento son, por un lado, la baja densidad de azúcar por biomasa y, por otro, la poca efectividad de las enzimas para degradarla. Por esta razón, aumentar la acumulación de azúcares en biomasa y mejorar la digestibilidad de la misma, tendrá un impacto importante en la reducción del costo de la producción de biocombustibles.

La lignina es un polímero de grupos fenilpropanoides altamente ramificados que está presente en las paredes celulares de las plantas y realiza múltiples funciones que son esenciales para la vida de las mismas. Por ejemplo, proporciona rigidez a la pared celular, evitando de este modo el volcado de algunas plantas y les confiere resistencia a patógenos, impidiendo la penetración de las enzimas destructivas en la pared celular. Sin embargo, la lignina es también la principal causa de resistencia de las paredes celulares a la acción de las enzimas hidrolíticas, necesarias para la obtención de los azúcares fermentables. Por esta razón, para disminuir el costo en la producción de biocombus-



tibles es necesario disminuir la cantidad de lignina en las paredes celulares de las plantas. Desafortunadamente, la reducción de la cantidad de lignina en plantas conduce a una pérdida de la integridad de la pared celular, causando el colapso de las vesículas. Este fenotipo se observa también cuando las plantas son deficientes en los genes involucrados en la biosíntesis de celulosa y hemicelulosa. Por esta razón es necesaria una regulación más fina, con el objetivo de lograr disminuir la cantidad de lignina sin perjudicar la dureza del tallo necesaria para evitar el volcado de las plantas. En el Laboratorio de Biotecnología Vegetal del IAL se trabaja desde hace años en la caracterización funcional de factores de transcripción (FT) de la familia HD–zip 1. Los FT son proteínas capaces de reconocer secuencias específicas en los genes que actúan como sus blancos, unirse a ellas y desencadenar una cascada de señalización activando o reprimiendo vías de transducción de señales en las que intervienen otras moléculas biológicas, entre las cuales también se cuentan otros factores de transcripción.

HAHBII es un factor de transcripción de girasol que pertenece a la subfamilia HD–zip 1. Las plantas de *Arabidopsis* que lo expresan de forma ectópica y constitutiva presentan un fenotipo diferente al de las plantas salvajes en condiciones normales de crecimiento. La roseta tiene más cantidad de hojas y las mismas son de mayor tamaño. El ciclo de vida es más largo y depende del nivel de expresión de las plantas. Presentan mayor cantidad de ramificaciones y una mayor producción de semillas por planta. El tallo es más ancho y al realizar cortes histológicos del mismo, se observa que presenta mayor cantidad de haces vasculares que el de las plantas salvajes, como así también más crecimiento secundario del xilema y, por lo tanto, mayor contenido de lignina (Cabello *et al.*, 2013, 2016, 2017).

Paralelamente, en un estudio de expresión génica realizada en tallos de *A. thaliana* (Ko *et al.*, 2004) se identificaron más de 700 genes que se expresaron diferencialmente durante la transición de crecimiento primario (tallos jóvenes con menor contenido de lignina) a crecimiento secundario (tallos maduros con mayor contenido de lignina). Entre estos genes regulados se encontraba un grupo de FTs de tipo HD–zip 1 y dentro de este grupo, algunos aumentaban su expresión a medida que el tallo maduraba, mientras que solo uno de ellos (ATHB5) la disminuía. Este dato, junto con la hipótesis de que dos de los genes que aumentan su expresión a medida que el tallo madura podrían presentar un fenotipo similar al de las plantas que expresan HAHBII con mayor lignificación, sugirió que ATHB5 podría generar un fenotipo opuesto, con menor lignificación.

Efectivamente, las plantas que sobreexpresan a ATHB5 presentan menor contenido de lignina en sus tallos. Además, crecen y se desarrollan de forma muy

similar a sus controles sin transformar y, curiosamente, acumulan mayor cantidad de azúcares solubles en biomasa, lo que hace de estas plantas una herramienta biotecnológica atractiva para la obtención de biocombustibles.

#### Fuentes alternativas de biomasa, con aumento de las opciones bioproductivas

En otro de los proyectos en desarrollo en el LEM, el objetivo es aprovechar polisacáridos y lípidos acumulados en microorganismos fotosintéticos como *Euglena gracilis*. Esta microalga es un protista unicelular no patógeno producto de una endosimbiosis secundaria. Este origen evolutivo hace, entre otras cosas, que *E. gracilis* pueda crecer en forma autótrofa (realizando fotosíntesis), heterótrofa (en oscuridad, usando una fuente de carbono orgánica) o mixta (en presencia de luz y con una fuente de carbono orgánico). Esta amplia capacidad metabólica y su habilidad de generar bioproductos como polisacáridos, ácidos grasos poliinsaturados, vitaminas y otros metabolitos, lo ha convertido en un microorganismo de interés en biotecnología y biomedicina. El principal polímero de reserva de *E. gracilis* es el paramilón: un  $\beta$ -1,3-glucano insoluble en agua, de elevado grado de polimerización y sin ramificaciones. La información que se tiene acerca de cómo *E. gracilis* es capaz de metabolizar este polímero aún es escasa. Como parte de los objetivos de los trabajos de investigación en curso, se analiza molecularmente el escenario metabólico de síntesis y degradación de este polímero, mediante la caracterización de enzimas y proteínas auxiliares involucradas en estos procesos. Se obtuvo en forma recombinante la UDP-glucosa pirofosforilasa, enzima importante en la generación de UDP-glucosa para la síntesis de paramilón (Muchut *et al.*, 2018). La enzima se estudió enzimática y estructuralmente, pudiéndose analizar su ubicación celular y mediante genética inversa (RNAi) su importancia en la síntesis del polisacárido de reserva. Actualmente se trabaja en la caracterización fisicoquímica y estructural de distintas enzimas que actúan en procesos de degradación del polímero (glicosil hidrolasas [endo  $\beta$ -1,3 glucanasas], así como también  $\beta$ -1,3-glucan fosforilasas).

*E. gracilis* puede acumular paramilón hasta un 60 % de su masa húmeda total por lo que disponer de un sistema enzimático para la degradación *in vitro* del mismo sería altamente relevante a los efectos de convertir este polisacárido en biomasa disponible para la generación de un mosto fermentable para obtener bioetanol. Alternativamente, y procesado dentro de la misma célula del microorganismo por cambio en las condiciones de cultivo, puede convertirse el paramilón en lípidos de uso para la generación de biodiésel, así

como también de biolubricantes u otros compuestos de aplicación en distintas industrias.

## Conclusiones y perspectivas

Las particularidades de la región brindan un marco conveniente para el desarrollo de estrategias de biorrefinerías a distintos niveles: la producción de biocombustibles de segunda y tercera generación (biodiésel de aceite microbiano, bioetanol y biohidrógeno de residuos lignocelulósicos); el aprovechamiento de subproductos de los procesos (por ejemplo, el glicerol) para la producción de derivados de alto valor agregado o la elaboración de biopolímeros y otros componentes industriales. La generación de herramientas biológicas y moleculares para producir formas alternativas de biomasa de aplicación específica en los propios desarrollos biotecnológicos de modo integrador sigue uno de los principios importantes de la reconversión industrial: optimizar la sustentabilidad y el cuidado del medio ambiente en los procesos productivos.

De esta manera, aprovechando el marco agrícola ganadero de la región centro norte santafesina y sus polos industriales (principalmente radicados en los departamentos Castellanos, Las Colonias y Gral. Obligado), manteniendo el impulso y ponderaciones al actual desarrollo en el tema de biodigestores (INTI, 2016) para la producción de biogás y la reactivación del ingenio en el norte santafesino para la producción de alcohol etílico de caña de azúcar, el estado podría fomentar aún más la investigación y desarrollo de las bioenergías más novedosas como los combustibles líquidos de segunda generación (etanol, butanol y biodiésel), biohidrógeno y *bio-oil*, incluyendo ensayos a escala piloto. Esto intensificaría otras acciones provinciales en relación con los biocombustibles. También, estas acciones permitirán innovar respecto a la utilización de desechos en la actividad agrícola y de otras agroindustrias, con la generación de herramientas biológicas–moleculares, que potencien el reciclado de subproductos y la sustentabilidad industrial y energética.

## Investigación y desarrollo de procesos de producción de biodiésel y aprovechamiento de subproductos del proceso

Carlos A. Querini<sup>4</sup> y Bruno O. Dalla Costa<sup>4</sup>

La energía como recurso tiene un carácter estratégico único, ya que pueden sustituirse las fuentes energéticas, pero el fluido energético es irremplazable e imprescindible en cualquier proceso de transformación o producción. La energía juega un papel crítico en el proceso económico de cualquier sociedad. La producción de energía y el estado del medio ambiente están íntimamente relacionados, ya que cualquier sociedad humana tiene dependencia del medio natural o geográfico para la posibilidad de su existencia y evolución. Todo esto, sumado a los potenciales mayores costos de explotación de petróleo, su escasez y precio, redoblan los incentivos para el desarrollo de energías renovables. Argentina es una de las regiones más favorecidas con una multiplicidad de ecosistemas apropiados para la implementación de diversos tipos de energías renovables, entre los que se destacan los biocombustibles de segunda generación. En Santa Fe, la ley provincial 12692 define a los *biocombustibles* como aquellos productos que se obtienen a partir de materias primas de origen agropecuario o agroindustrial o desechos orgánicos, y que cumplan con los requisitos de calidad establecidos por la Secretaría de Energía de la Nación. Luego, la ley nacional 26093 menciona como biocombustibles al *bioetanol*, *biogás* y *biodiésel*. En el caso particular del biodiésel, que sustituye o complementa al diésel, se obtiene a partir de materias primas renovables como ser aceites vegetales (soja, colza/canola, girasol, entre otros), como así también de grasas animales, a través de un proceso denominado transesterificación. En este proceso, los triglicéridos presentes en las materias primas se hacen reaccionar con un alcohol, en presencia de un catalizador, obteniéndose los ésteres de ácidos grasos (biodiésel) y glicerol como subproducto. Aproximadamente por cada tonelada de aceite vegetal crudo se obtiene una tonelada de biodiésel.

La provincia de Santa Fe tiene un elevado potencial en esta temática, con numerosas razones que justifican la inversión en innovación y tecnología del proceso de producción de biodiésel. Por un lado, el empleo de biodiésel como combustible tiene ventajas medioambientales, siendo muy importante la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, como así también de las emisiones de dióxido de azufre (National Renewable Laboratories Report, 2006). En lo que refiere a la logística, se reduce el consumo de combustibles fósiles y se puede contribuir de manera

---

4 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica «Ing. José Miguel Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).

significativa al abastecimiento energético. En el ámbito agrícola, la instalación de industrias productoras de biodiésel permite un mayor desarrollo del sector productivo, con activación de las economías rurales y la consecuente generación de puestos de trabajo. La cadena productiva adquiere mayor valor, debido a una mayor producción de cereales y oleaginosas con fines energéticos.

Otro punto importante es que el costo de producción de biodiésel está conformado en gran medida por el precio de la materia prima, y en este sentido la provincia de Santa Fe posee la gran ventaja de tener enormes oportunidades para el desarrollo de los cultivos asociados a este biocombustible, con niveles de rendimiento por hectárea tradicionalmente altos. Además, a la vera del río Paraná, se localiza una porción fundamental del complejo oleaginoso más importante del mundo. Se concentran las actividades que incluyen la producción de granos, el transporte, el almacenamiento, la industrialización en aceites crudos y refinados, subproductos de la industria aceitera procesados —pellets— y biodiésel, y la exportación.

En Santa Fe durante 2016 se produjeron 2,1 millones de toneladas de biodiésel de soja, lo que implica una participación de 79 % del total nacional. Prácticamente la totalidad de las empresas de mayor dimensión de la Argentina, es decir, aquellas con una capacidad igual o superior a 100 000 toneladas por año se encuentran en Santa (Gobierno de la provincia de Santa Fe, 2018).

De la producción de biodiésel de soja se obtiene una considerable cantidad de glicerol. El mismo posee amplias posibilidades de aplicación, industrialización y generación de nuevos productos de mayor valor agregado, especialmente en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética. De esta manera, la producción de biodiésel permite agregar valor a los sistemas productivos y genera oportunidades de desarrollo en otras importantes actividades económicas. En la industria aceitera, se generan otros subproductos durante las etapas de purificación del aceite, ya sea para ser usado como comestible o en la industria oleoquímica. Uno de esos subproductos son los residuos del desgomado, que contienen fosfolípidos, aceite, y jabones. Estas corrientes pueden ser usadas para obtener biocombustibles de tercera generación y compuestos de mayor valor agregado.

El grupo de trabajo desarrolla actividades de investigación y desarrollo en varias líneas directamente relacionadas con la energía y aprovechamiento de recursos renovables. En el tema de biodiésel, se han desarrollado procesos para mejorar la calidad del combustible y que facilite su utilización en mayores porcentajes de mezcla con gasoil. Por ejemplo, se ha patentado y transferido al sector industrial, un proceso para reducir el nivel de contaminantes como los glucósidos esteroides, mejorando una propiedad muy importante del combustible, y que refiere a la presencia de sólidos que conducen al tapado de filtros.

Este proceso también reduce el nivel de monoglicéridos, mejorando sustancialmente el comportamiento en frío del biodiésel, solucionando así una de las principales desventajas de este combustible renovable comparado con el tradicional gasoil (Mendow y Querini, 2014). Se han obtenido también desarrollos de plantas en baja escala, dedicadas a autoconsumo, que son las únicas que cumplen las normas de seguridad y calidad exigidas en la normativa vigente. Existen ya varias plantas en funcionamiento en el país provistas por este grupo de trabajo.

Otra línea relacionada con los complejos oleaginosos, es el aprovechamiento de los residuos del desgomado de aceites. Se ha presentado una patente en la cual se introducen novedosos métodos para la utilización de estas corrientes, para obtener biocombustibles de tercera generación (a partir de residuos), de manera totalmente amigable con el ambiente (Pisarello *et al.*, patente en gestión). Estos procesos permitirían recuperar compuestos valiosos presentes en este subproducto, como el inositol. Actualmente se trabaja también en este último aspecto.

La utilización de etanol para la producción de biodiésel también ha sido abordada, habiéndose logrado desarrollar procesos que permiten obtener el biodiésel en la forma de etilesteres, logrando de esta manera obtener un combustible 100 % renovable, mejorando las propiedades y estimulando la instalación de plantas de bioetanol.

Como se describe en el siguiente apartado, otra línea en la cual el grupo desarrolla actividades de investigación en bioenergía, involucra el estudio de los procesos de producción de *bio-oil*, combustible renovable obtenido por pirolisis de residuos lignocelulósicos. Este tipo de residuos se genera en cantidad tanto en el país, como en la provincia, por lo que resulta de gran interés la generación de capacidades para el desarrollo de procesos destinados a la obtención de estos biocombustibles de segunda generación.

En el aprovechamiento de glicerina se ha estado trabajando desde un punto de vista fundamental, para obtener compuestos de valor para su utilización como materia prima en la elaboración de productos de alta demanda, o para obtener aditivos de combustibles (Lago *et al.*, 2018).

La acetilación de la glicerina para obtener di y triacetinas tanto con catálisis homogénea como heterogénea, ha sido abordada en los últimos años. Estos compuestos tienen numerosas aplicaciones, una de ellas es como aditivo del gasoil/biodiésel, para mejorar las propiedades del combustible, particularmente su comportamiento en frío. También se está trabajando en la esterificación de ácidos grasos con glicerina de manera de usar esta reacción para reducir la acidez de aceites, de biodiésel, o para aprovechar corrientes de

bajo valor de las biorefinerías (oleínas) para generar di y triglicéridos. En esta línea, también se trabaja en conexión con empresas interesadas en la temática (Dalla Costa *et al.*, 2017).

Otro producto de interés derivado del aprovechamiento de estas corrientes generadas en las biorefinerías, son el glicerol formal y el glicerol formal esterificado, que son productos de aplicaciones diversas, por ejemplo, como vehículos para fármacos en veterinaria. Se está generando capacidad para estudiar las reacciones y procesos y desarrollar nuevas metodologías de producción.

## Conclusiones y recomendaciones

Como se mencionó, la provincia tiene un gran potencial para la producción de biocombustibles dada su ubicación estratégica como polo agroindustrial. Son numerosas las razones que justifican la inversión en innovación y tecnología del proceso de producción de biodiésel, contribuyendo a la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono, como así también de las emisiones de dióxido de azufre. Apoyada por la normativa, el sector ha tenido un importante y sostenido desarrollo, que debe continuar con el apoyo del sector público–privado.

Todas las líneas de investigación mencionadas han tenido una fuerte componente de aportes del sector industrial. El grupo de trabajo ha transferido a numerosas empresas los conocimientos generados a través de los años, y que incluyen métodos analíticos, mejoras en procesos, formación de recursos humanos de empresas, nuevas tecnologías, y nuevos procesos.

Esto muestra que no solo es necesaria la participación del sector privado en el desarrollo de tecnologías a través del financiamiento de las líneas de trabajo, sino que también es posible y, sobre todo, imprescindible para identificar los problemas a resolver y oportunidades de desarrollos. Desde el punto de vista del Estado, se debe facilitar esta cooperación entre el sector científico y el privado a través de incentivos a la inversión en ciencia y tecnología. También es importante que el Estado nacional y los estados provinciales orienten líneas de financiamiento a temas que se identifiquen como prioritarios. Para esto, es importante que se trabaje en forma conjunta entre los sectores gubernamental, académico y privado.

## **Generación de productos sustitutos de hidrocarburos a partir de biomasa lignocelulósica residual**

*Melisa Bertero<sup>5</sup> y Ulises Sedran<sup>5</sup>*

Ante la posibilidad de usar biomasa residual de procesos productivos como solución a su impacto ambiental, aprovechando su gran potencial como fuente renovable de energía y de productos finales, por vía de procesos termoquímicos, en el Grupo de Investigaciones en Aplicaciones Catalíticas (GIAC) del INCAPE se trabaja en generación de energía a partir de biomasa desde 2007. Las líneas principales son gasificación y pirólisis. Se generaron numerosos antecedentes sobre el tema, incluyendo estudios con biomazas lignocelulósicas residuales o de especies invasivas (más de 30 tipos estudiados, incluyendo aserrines de maderas, residuos de cosechas, cáscaras de cereales e incluso estiércol vacuno). Los trabajos incluyeron diseño, construcción y puesta a punto de tres reactores de laboratorio: de pirólisis convencional, pirólisis rápida y de conversión catalítica inmediata del *bio-oil* generado en hidrocarburos, para uso como combustibles y materia prima para la industria química. Los estudios mostraron que son posibles altas producciones de *bio-oils* (50 a 70 %) a partir de casi cualquier biomasa lignocelulósica (Bertero *et al.*, 2012, 2014a, 2014b; 2018), cuyas características los hacen adecuados para convertirlos en hidrocarburos mediante upgrading catalítico, o usarlos en reemplazo de alimentaciones fósiles en refinерías. Asimismo, el subproducto sólido denominado *char* y los gases de la descomposición de la biomasa también fueron analizados para determinar su composición y propiedades, que permitieran definir usos. Así, los gases pueden emplearse para generar el calor necesario para la propia pirólisis, mediante recirculación y combustión en el mismo reactor. El *char* puede transformarse en carbón activado y emplearse como adsorbente o soporte de otros materiales; también existen aplicaciones más novedosas, como su agregado como relleno en mezclas asfálticas.

Recientemente se construyó en INCAPE un gasificador escala piloto (tiro descendente, downdraft) para obtener «gas pobre», destinado a motores de combustión interna para generar energía mecánica y eléctrica, o a turbinas de gas y que, dada su alta temperatura, también podría usarse como fluido de intercambio calórico. En este equipo se estudió la gasificación de cáscara de arroz, con rendimiento, composición y poder calorífico del gas pobre. Se ensayan también otras biomazas, como aserrines de diferentes maderas.

---

5 Instituto de Investigaciones de Catálisis y Petroquímica «Ing. José Miguel Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).



Además del estudio de biomásas vegetales para generación de energía y productos químicos, y dado que la disposición de los residuos animales de explotaciones ganaderas intensivas (feedlots) representan un gran problema ambiental y económico, el grupo investigó sobre el estiércol vacuno proveniente de tales establecimientos como materia pirolizable. Los rendimientos a líquido (45 a 65 %), con alto contenido de hidrocarburos, muestran que es posible generar energía y combustibles con esta biomasa (Bertero *et al.*, 2019a).

Además, el grupo GIAC trabaja en tres líneas para valorización de los *bio-oils* generados por pirólisis de biomasa: a) coprocesamiento de los *bio-oils* y sus fracciones acuosa y tar en el proceso de craqueo catalítico (FCC en refinerías); b) uso de tar pirólítico y alquitrán de gasificación como ligantes en mezclas asfálticas; y c) recuperación de compuestos a partir de los *bio-oils* y sus fracciones. En todas estas temáticas, el grupo registra resultados de investigaciones, con carácter aplicado, que han producido importantes contribuciones.

Bajo el enfoque de coprocesamiento en refinerías se desarrollaron trabajos sobre el pre-tratamiento térmico de los *bio-oils* de diferentes biomásas para mejorar su procesabilidad en unidades de craqueo catalítico de fluidos (FCC). El tratamiento fue realizado lentamente, con lo que fue posible separar precursores de coque y aumentar su Índice Efectivo de Hidrógeno, que describe la capacidad de conversión de una alimentación en el FCC (Bertero *et al.*, 2011; Bertero y Sedran, 2013a).

Estudios posteriores de conversión sobre catalizadores comerciales de FCC permitieron dilucidar aspectos fundamentales, concluyendo que es posible obtener hidrocarburos a partir de los *bio-oils*, y que el tratamiento previo es positivo, mejorando la desoxigenación (hasta 95 %) y disminuyendo la producción de coque. Esto último es un aspecto central si se considera el coprocesamiento, dado el delicado balance de energía que rige las unidades de FCC. La conversión de los *bio-oils* generó principalmente olefinas C<sub>4</sub>- e hidrocarburos en el rango de la gasolina. Se utilizaron dos tipos de reactores: uno de lecho fijo (MAT–MicroActivity Test) y un Simulador de Riser CREC, que reproduce más fielmente las condiciones del proceso industrial (Bertero y Sedran, 2013b; 2015; Bertero *et al.*, 2013; 2015a; 2015b; 2017; 2019b; 2019c; Pujro *et al.*, 2019). Estos trabajos confirman que el grado de desoxigenación del *bio-oil* no generaría impacto negativo sobre los productos del FCC, y que la cantidad de coque proveniente del *bio-oil*, especialmente si se lo trata térmicamente de manera previa, no representaría inconvenientes para la operación comercial, al igual que el agua que se agregaría con el *bio-oil* al sistema.

Se realizaron, y están en curso, estudios de coprocesamiento de *bio-oils* con Gas Oil de Vacío (alimentación tradicional del FCC) utilizando catalizadores comerciales, con lo que se intenta dilucidar qué tipos de catalizadores son más adecuados y qué grado de optimización puede lograrse con ellos, así como la máxima concentración de *bio-oil* factible de utilizarse en función del catalizador y de la biomasa de origen.

El análisis de la eficiencia de los catalizadores de FCC para convertir *bio-oils* se complementó con la formulación de prototipos con zeolitas Y modificadas por desilicación alcalina, que fueron evaluados en tal conversión. La mesoporosidad intracristalina generada incidió positivamente al favorecer la difusión de las moléculas más voluminosas en los *bio-oils* y los tars, produciendo mayor desoxigenación y mayor producción de hidrocarburos. También se revalorizaron catalizadores agotados de FCC mediante lixiviación en medios ácido y alcalino, mejorando su performance en el upgrading de líquidos de pirólisis derivados de aserrín de madera y de estiércol vacuno, respecto de los catalizadores comerciales equilibrados (García *et al.*, 2015).

El empleo de tar pirólitico y alquitrán de gasificación como ligantes en mezclas asfálticas convencionales se basa en incorporar a tales mezclas los componentes de mayor viscosidad y densidad de tars y alquitranes de gasificación, mejorando también sus procesos de envejecimiento. Esta opción libera recursos fósiles para su procesamiento en refinerías hacia productos de mayor valor.

La obtención de productos valiosos es posible a partir de los *bio-oils* derivados de diversas biomásas residuales, en los que se observan altas concentraciones de ciertos compuestos o grupos de compuestos. Hasta el momento se ha logrado concentrar hasta 72 % los fenoles contenidos en *bio-oil* de cáscara de arroz combinando técnicas de extracción líquido-líquido con destilación al vacío, y se estudia la producción de acetatos a partir de diferentes *bio-oils* por vía de reacciones de esterificación.

Los resultados de estas investigaciones resultan prometedores dado el impacto que podrían tener sobre el sector productivo regional. Es de destacar que todos estos resultados pueden escalarse a niveles mayores, y que estas propuestas contribuyen a la reducción de impactos negativos de actividades productivas mediante la generación de energía, combustibles y productos químicos de alto valor a partir de residuos agrícolas, forestales e industriales.

## Conclusiones y recomendaciones

En la provincia de Santa Fe, la opción de instalar sistemas descentralizados de producción de energía a partir de biomasa lignocelulósica (por ejemplo, procesos pirolíticos y/o de gasificación), resulta prometedora para facilitar consumos locales (sobre todo en producciones agropecuarias), reduciendo costos y solucionando el problema ambiental que los residuos de estas actividades generan.

La inversión en innovación y tecnología en este sector energético debe recibir el apoyo del sector público, para lo cual, Santa Fe tiene la capacidad científica y tecnológica necesaria para el desarrollo de proyectos de esta índole. El grupo de trabajo realiza transferencia de conocimientos y tecnologías al sector privado desde hace muchos años, incluyendo análisis de laboratorio, evaluación de catalizadores y condiciones para procesos de refinación y de generación de energía a partir de biomasa, así como también la capacitación de recursos humanos en la materia

### **Hidrógeno como vector de energía. Producción a partir de materias primas renovables de la región**

*John Múnera,<sup>6</sup> Ana Tarditi<sup>6</sup> y Laura Cornaglia<sup>6</sup>*

El desarrollo industrial que ha tenido la provincia de Santa Fe en los últimos años ha llevado a una creciente demanda energética. La diversidad y la flexibilidad dentro de los sistemas energéticos es clave: el futuro energético provendrá de fuentes más diversas que en el presente. En ese sentido, el hidrógeno (H<sub>2</sub>) puede ocupar un lugar importante, junto a otras tecnologías de almacenamiento de energía, donde los beneficios del hidrógeno sean concretos para aplicaciones específicas. En Argentina, el desarrollo, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía, se ha promovido a través de la ley 26123. Recientemente, se ha presentado un proyecto con modificaciones de ésta, tendientes a favorecer el desarrollo de la actividad (Modificación ley 26123).

La disponibilidad de hidrógeno para su uso en celdas de combustibles para la producción de energía tiene como principal beneficio disminuir la contaminación ambiental. La producción de hidrógeno con estos fines plantea la necesidad de buscar métodos novedosos y más económicos para su generación, separación y purificación. El desafío es producir hidrógeno a partir de

---

<sup>6</sup> Instituto de Investigaciones de Catálisis y Petroquímica «Ing. José Miguel Parera» (INCAPE) (CONICET–UNL).

fuentes renovables, siendo el reformado de bioetanol y el de biogás (mezcla de metano y dióxido de carbono) alternativas viables. En este contexto, el aprovechamiento de la biomasa para la generación de bioetanol y biogás, se presenta como una opción interesante en la región centro norte de la provincia de Santa Fe. Actualmente, esta provincia es la zona del país donde existe el mayor desarrollo de plantas de biogás, algunas de ellas en funcionamiento. Teniendo en cuenta esto, una posibilidad para su aprovechamiento es la producción de hidrógeno o gas de síntesis mediante reacciones de reformado. Por otra parte, las reacciones de reformado producen gases con alto contenidos de  $H_2$  así como  $CO_2$ ,  $CO$  y agua, que pueden alimentarse directamente a celdas de combustibles de alta temperatura (tipo SOFC) para la producción de energía.

En los últimos años, los avances producidos en el desarrollo de celdas de combustibles dieron un nuevo impulso al empleo del hidrógeno como vector energético tanto en automóviles eléctricos como en fuentes estacionarias de energía.

Para la producción de hidrógeno de alta pureza, requerido en las celdas tipo PEM (de membrana de intercambio de protones) de baja temperatura, se ha investigado el empleo de reactores de membrana. Estos permiten llevar a cabo las etapas de generación y separación de hidrógeno en un único dispositivo. La aplicación de estos reactores requiere del desarrollo de materiales avanzados, membranas y catalizadores con alta estabilidad y bajo costo y de la optimización de las condiciones de operación.

El grupo de Físicoquímica de INCAPE ha estado trabajando en la temática durante varios años, dando lugar a más de cuarenta publicaciones relacionadas a la producción de hidrógeno a partir del reformado de metano con dióxido de carbono y de reformado de etanol empleando tanto reactores convencionales como de membrana (Bosko *et al.* 2018, Coronel *et al.* 2014; Cornaglia y Lombardo, 2014; Múnera, 2019). En el grupo, se han desarrollado catalizadores en base a metales nobles (rutenio-(Ru), rodio-(Rh), platino-(Pt)) soportados sobre sistemas binarios (como  $La_2O_3-SiO_2$  y  $CaO-SiO_2$ ) los cuales fueron activos, estables y selectivos para el reformado seco de metano. Estos materiales se han caracterizados mediante diversas técnicas de caracterización *in situ* en atmósferas reductoras y en corrientes de reacción. Las mejores formulaciones obtenidas fueron evaluadas en reactores de membrana, empleando membranas comerciales y sintetizadas en los laboratorios del grupo; se estudiaron distintas configuraciones, logrando maximizar la producción de hidrógeno.

En la producción de hidrógeno a partir del reformado de bioetanol con vapor se han empleado catalizadores de Rh soportados sobre  $La_2O_3-SiO_2$  (Coronel *et al.*, 2014) y catalizadores de Ru depositado sobre fibras de carbono (Bosko *et al.*, 2018). Además, se han desarrollado catalizadores de cobalto-

(Co), empleando los mismos soportes binarios que presentaron una alta estabilidad durante 24 horas en reacción. Mediante la caracterización fisicoquímica, se encontró que los sólidos con mayor contenido de Co metálico mostraron el mejor rendimiento a hidrógeno, sugiriendo que esta sería la especie activa para la mayoría de las reacciones que ocurren en el reformado de etanol. Por otra parte, en el reactor de membrana los catalizadores de Co mostraron una recuperación de hidrógeno aún mejor que la obtenida con los catalizadores basados en metales nobles como el Rh.

La investigación llevada a cabo en el caso de membranas compuestas inorgánicas basadas en aleaciones binarias de paladio-Pd, plata-Ag, oro-Au (PdAg, PdAu), y ternarias de Pd (PdAgAu, PdCuAu, PdAgRu, PdAgCu) (cobre-Cu), ha permitido adquirir experiencia en el manejo de técnicas de deposición tanto para la película selectiva como para los diferentes materiales utilizados como modificadores del soporte de acero inoxidable poroso. Las propiedades volumétricas y superficiales se correlacionaron con el comportamiento permselectivo de las membranas con el objetivo de optimizar las condiciones de síntesis y operación (Braun, 2014). La incorporación de óxido de circonio-ZrO<sub>2</sub> como modificador del sustrato, permitió obtener membranas de PdAu y PdAgAu de bajo espesor (~10 μm) con elevada selectividad a hidrógeno, buena durabilidad y estabilidad térmica. Se han obtenido películas homogéneas, libres de defectos, optimizando la composición de las aleaciones binarias y ternarias con el objetivo de incrementar el flujo de permeación y la resistencia a contaminantes como CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S (Braun, 2014; Dalla Fontana, 2018).

## Conclusiones y perspectivas futuras

A pesar de que se han realizado grandes avances en esta área, el desafío aún hoy es desarrollar nuevos catalizadores y membranas para la separación y producción de hidrógeno o gas de síntesis a partir del reformado de biogás o bioetanol. Más específicamente, se necesitan catalizadores a medida, capaces de operar a las temperaturas más bajas posibles con alta actividad, selectividad y una mejor estabilidad. Por lo tanto, es necesario optimizar la concentración de los metales en formulaciones probadas, lo que indica la necesidad de mayor trabajo de investigación para los próximos años. Otra área importante es la obtención de datos de planta piloto que muestren el logro de objetivos industriales deseables, como limitaciones mínimas de transporte de calor y masa, selectividad y durabilidad del catalizador.

El estudio de los materiales en condiciones reales permitirá un mayor conocimiento y optimización de estos procesos, de tal manera de posibilitar la pro-

ducción de combustibles limpios como el hidrógeno dando mayor valor agregado a desechos agroindustriales generados en la provincia.

## Agradecimiento

Los autores agradecen especialmente al Ing. Eduardo Lombardo quien fue el iniciador del proyecto.

## Referencias bibliográficas del capítulo 1

### Herramientas biológicas y moleculares para estrategias de biorrefinerías

- Beccaria, A. J.; Iglesias, A. A. & Comelli, R.A. (2012). The Pauper and the Prince: Glycerol in a view from biofuels and biorefineries. En: M. De Santos Silva & P. Costa Ferreira (Eds.). *Glycerol: Production, Structure and Applications* (pp. 113–37). Nova Science Pub.
- Cabello, J. V.; Giacomelli, J. I. & Chan, R. L. (2013). Patente CONICET–UNL: Improved yield and tolerance to multiple abiotic stresses. WO/2013/116750 (solicitud PCT/US2013/024473)
- Cabello, J. V.; Giacomelli, J. I. (...) Chan, R. L. (2016). The sunflower transcription factor HaHB11 improves yield, biomass and tolerance to flooding in transgenic *Arabidopsis* plants. *Journal of Biotechnology*, 222, 73–83.
- Cabello, J. V.; Giacomelli, J. I. (...) Chan, R. L. (2017). The sunflower transcription factor HaHB11 confers tolerance to water deficit and salinity to transgenic *Arabidopsis* and alfalfa plants. *Journal of Biotechnology*, 257, 35–46.
- Carroll, A. & Somerville, C. (2009). Cellulosic biofuels. *Annual Review of Plant Biology*, 60, 165–182.
- Cereijo, A. E.; Asencion Diez, M. D. (...) Iglesias, A. A. (2016). On the Kinetic and Allosteric Regulatory Properties of the ADP–glucose Pyrophosphorylase from *Rhodococcus jostii*. An approach to evaluate glycogen metabolism in oleaginous bacteria. *Frontiers in Microbiology*, 7, 830. doi: 10.3389/fmicb.2016.00830
- Cherubini, F. (2010). The biorefinery concept: Using biomass instead of oil for producing energy and chemicals. *Energy Conversion and Management*, 51, 1412–1421. doi:10.1016/j.enconman.2010.01.015
- Clebot, A.; Irigoyen, M. (...) Beccaria, A. (2019). Bioprospección de microalgas de interés biotecnológico en un complejo ambiental. Selección de cepas oleaginosas con potencial aplicación en la síntesis de biodiésel. En *Anales del 1er Congreso Iberoamericano de Ingeniería Química*. Organizado por la Asociación Nacional de Químicos e Ingenieros Químicos de España.
- D’Ippolito, S.; De Castro, R. E. (...) Herrera Seitz, M. K. (2011). Chemotactic responses to gas oil of *Halomonas* spp. strains isolated from saline environments in Argentina. *Revista Argentina de Microbiología*, 43, 107–110.

- Duarte, F.; Beccaria, A. & Dondo, R. (2018). Optimal control of a two stages process for ethanol production from lignocellulosic materials of sorghum. En *Anales del III Simposio Argentino de Informática Industrial e Investigación Operativa*. Organizado por la Sociedad Argentina de Informática y la Universidad de Palermo.
- Escobar, M.; Herrera Seitz, M. K. & Studdert, C. A. (2018). Bioconversion of glycerol into polyhydroxyalkanoates by an indigenous strain, *Halomonas titanicae* KHS3. En *Resúmenes del LIV Encuentro Anual de la Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular* y organizado por SAIB. *Biocell* 42 (Suppl. 4).
- Gasperotti, A. F.; Studdert, C. A. (...) Herrera Seitz, M. K. (2015). Draft genome sequence of *Halomonas* sp. KHS3, a polyaromatic hydrocarbon-chemotactic strain. *Genome Announc*, 3(2), e00020–15.
- Giordano, P. C.; Martínez, H. D. (...) Goicoechea, H. C. (2010). Application of response surface methodology and artificial neural networks for optimization of recombinant *Oryza sativa* non-symbiotic hemoglobin 1 production by *Escherichia coli* in medium containing byproduct glycerol. *Bioresource Technology*, 101, 7537–7544.
- Giordano, P. C.; Beccaria, A. J. (...) Olivieri, A. C. (2013). Optimization of the hydrolysis of lignocellulosic residues by using radial basis functions modeling and particle swarm optimization. *Biochemical Engineering Journal*, 80, 1–9.
- Giordano, P. C.; Beccaria, A. J. & Goicoechea, H. C. (2014). Rational design of a culture medium for the intensification of lipid storage in *Chlorella* sp. Performance evaluation in air-lift bioreactor. *Bioresource Technology*, 158, 269–277.
- Hasunuma, T.; Okasaki, F. (...) Kondo, A. (2013). A review of enzymes and microbes for lignocellulosic biorefinery and the possibility of their application to consolidated bioprocessing technology. *Bioresource Technology*, 135, 513–522.
- Iglesias, A. A. (2015). Re-paving the Road Built by Chemistry: A Challenge to Biochemistry and Biotechnology –Editorial–. *American Journal of Biochemistry and Biotechnology*, 11, 3–4. doi: 10.3844/ajbbsp.2015.3.4
- INTI. Resultados Relevamiento Nacional de Biodigestores. <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/presentaciones/2016/Silvia-Ermeninto.pdf>
- Joyce, B. L. & Stewart Jr., C. N. (2012). Designing the perfect plant feedstock for biofuel production: Using the whole buffalo to diversify fuels and products *Biotechnolgy Advances*, 30, 1011–1022.
- Ko, J. H.; Han, K. H. & Yang, J. (2004) Plant body weight-induced secondary growth in *Arabidopsis* and its transcription phenotype revealed by whole-transcriptome profiling. *Plant Physiology*, 15. 1069–1083.
- Muchut, R. J.; Calloni, R. D. (...) Guerrero, S. A. (2018). Elucidating paramylon and other carbohydrate metabolism in *Euglena gracilis*: Kinetic characterization, structure and cellular localization of UDP-glucose pyrophosphorylase. *Biochimie*, 154, 176–186.
- Piattoni, C. V.; Figueroa, C. M. (...) Iglesias, A. A. (2013). Production and characterization of *Escherichia coli* glycerol dehydrogenase as a tool for glycerol recycling. *Process Biochemistry*, 48, 406–412.
- Rodríguez, A. N.; D'Amico, D. (...) Herrera Seitz, M. K. (2018). Characterization of polyhydroxyalkanoate production by *Halomonastitanicae* KHS3. En *Resúmenes del LIV Encuentro Anual de la Sociedad Argentina de Investigación en Bioquímica y Biología Molecular*. Organizado por SAIB. *Biocell*, 42(4).
- Sanchez-Santillán, P.; Cobos-Peralta, M. A. (...) Herrera-Haro, J. (2016). Uso de carbón activado para conservar bacterias celulolíticas liofilizadas. *Agrociencia*, 50, 575–582.

## Investigación y desarrollo de procesos de producción de biodiésel y aprovechamiento de subproductos del proceso

- Dalla Costa, B. O.; Decolatti, H. P. (...) Querini, C. A. (2017). Influence of acidic properties of different solid acid catalysts for glycerol acetylation. *Catalysis Today*, 289, 222–230.
- Gobierno de la provincia de Santa Fe (2018). Biodiésel\_ES\_2018. [http://www.santafeglobal.gob.ar/wp-content/uploads/sites/9/2018/07/Biodiésel\\_ES\\_2018.pdf](http://www.santafeglobal.gob.ar/wp-content/uploads/sites/9/2018/07/Biodiésel_ES_2018.pdf)
- Lago, C. D.; Decolatti, H. P. (...) Querini, C. A. (2018). Gas phase glycerol dehydration over H-ZSM-5 zeolite modified by alkaline treatment with Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>. *Journal of Catalysis* 366, 16–27.
- Mendow, G. y Querini, C. (2014). Patente de invención. Proceso de Purificación de Biodiésel, 2014 – P20140104698.
- National Renewable Laboratories Report (2006). Effects of Biodiésel Blends on Milestone Vehicle Emissions. NREL/MP-540-40554, October 2006.
- Pisarello, M. L. Querini, C. A. (...) Maira, A. Proceso de tratamiento de emulsiones conformadas por al menos fosfolípidos, agua y aceite, Solicitud de patente 558628.

## Generación de productos sustitutos de hidrocarburos a partir de biomasa lignocelulósica residual

- Bertero, M.; De la Puente, G. & Sedran, U. (2011). Effect of pyrolysis temperature and thermal conditioning on the coke-forming potential of bio-oils. *Energy & Fuels*, 25, 1267–1275.
- Bertero, M.; De la Puente, G. & Sedran, U. (2012). Fuels from bio-oils. Bio-oil production from different sources, characterization and thermal conditioning. *Fuel*, 95, 263–271.
- Bertero, M.; De la Puente, G. & Sedran, U. (2013). Products and coke from the conversion of bio-oil acids, esters, aldehydes and ketones over equilibrium FCC catalysts. *Renewable Energy*, 60, 349–354.
- Bertero, M. & Sedran, U. (2013a). Conversion of pine sawdust bio-oil (raw and thermally processed) over equilibrium FCC catalysts. *Bioresource Technology*, 135, 644–651.
- Bertero, M. & Sedran, U. (2013b). Upgrading of bio-oils over equilibrium FCC catalysts. Contribution from alcohols, phenols and aromatic ethers. *Catalysis Today*, 212, 10–15.
- Bertero, M.; Falco, M. & Sedran, U. (2014a). Application of bio-oil derived from plant biomass in petrochemical industry. En Idris, A.; Sedran, U. & Zakaria, Z. (Eds.). *Advanced Conversion Technologies for Lignocellulosic Biomass* (pp. 1–36). Johor: Penerbit UTM Press.
- Bertero, M.; Gosostegui, H. (...) Sedran, U. (2014b). Characterization of the liquid products in the pyrolysis of residual chanar and palm fruit biomasses. *Fuel*, 116, 409–414.
- Bertero, M.; García, J. (...) Sedran, U. (2015a). Catalytic cracking of bio-oils improved by the formation of mesopores by means of Y zeolite desilication. *Applied Catalysis A: General*, 503, 1–8.
- Bertero, M. & Sedran, U. (2015b). Immediate catalytic upgrading of soybean shell bio-oil. *Energy*, 94, 171–179.
- Bertero, M. y Sedran, U. (2015). Co-processing of bio-oil in Fluid Catalytic Cracking. En Bhaskar, T & Stocker, M. (Eds.). *Recent Advances in Thermo-chemical Conversion of Biomass* (pp. 355–381). Amsterdam: Elsevier.



- Bertero, M.; Garcia, J. (...) Sedran, U. (2017). Hydrocarbons from bio-oils. Performance of the matrix in FCC catalysts in the immediate catalytic upgrading of different raw bio-oils. *Waste and Biomass Valorization*, 8(3), 933–948.
- Bertero, M.; Garcia, J. (...) Sedran, U. (2018). Chemical from agricultural and industrial waste. Pyrolysis products from residues of palm oil industry. En Zakaria, Z. (Ed.). *Sustainable Technologies for Management of Agricultural Waste* (pp. 7–24). Singapore: Springer Nature.
- Bertero, M.; Garcia, J. & Sedran, U. (2019). Thermochemical processes aimed at the energy valorization of cow manure from feedlots. En Hosseini, M. (Ed), *Advances in feedstock conversion technology for alternative fuels and bioproducts. New technologies, challenges and opportunities* (pp. 317–338). Elsevier.
- Bertero, M.; Garcia, J. (...) Sedran, U. (2019a). Equilibrium FCC catalysts to improve liquid products from biomass pyrolysis. *Renewable Energy*, 132, 11–18.
- Bertero, M.; Garcia, J. (...) Sedran, U. (2019b). Conversion of cow manure pyrolytic tar under FCC conditions over modified equilibrium catalysts. *Waste and Biomass Valorization*. <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00588-y>
- Garcia, J. R.; Bertero, M. (...) Sedran, U. (2015). Catalytic cracking of bio-oils improved by the formation of mesopores by means of Y zeolite desilication. *Applied Catalysis A: General*, 503, 1–8.
- Pujro, R.; Panero, M. (...) Falco, M. (2019). Hydrogen transfer between hydrocarbons and oxygenated compounds in co-processing bio-oils in FCC. *Energy & Fuels*, 33, 6473–6482.

## Hidrógeno como vector de energía. Producción a partir de materias primas renovables de la región

- Bosko, M. L.; Ferreira, N. (...) Cornaglia, L. M. (2018). Catalytic behavior of Ru nanoparticles supported on carbon fibers for the ethanol steam reforming reaction. *Catalysis Communications*, 114, 19–23.
- Braun, F.; Tarditi, A. (...) Cornaglia, L. (2014). Pd-based binary and ternary alloy membranes: Morphological and perm-selective characterization in the presence of H<sub>2</sub>S. *Journal of Membrane Science*, 450, 299–307.
- Coronel, L.; Munera, J. (...) Cornaglia, L. (2014). Hydrogen production by ethanol steam reforming over Rh nanoparticles supported on lanthana/silica systems. *Applied Catalysis B: Environmental*. 160, 254–266.
- Cornaglia, L. & Lombardo, E. (2018). Pure Hydrogen Production for Low Temperature Fuel Cells. *Catalysis Letters*, 148, 1015–1026.
- Dalla Fontana, A.; Cornaglia, L. & Tarditi, A. (2018). Hydrogen permeation and surface properties of PdAu and PdAgAu membranes in the presence of CO, CO<sub>2</sub> and H<sub>2</sub>S, *Journal of Membrane Science*, 563, 351–359.
- Modificación ley 26123, <https://www.diputados.gov.ar/proyectos/proyecto.jsp?exp=1769-D-2019>
- Munera, J.; Faroldi, B. & Cornaglia, L. M. (2019). *Chapter 10: Nanoparticles in the Water-Gas Shift Reaction and Steam Reforming Reactions* (Book Chapter) RSC Catalysis Series 2019 (38), 280–308.
- Régimen para el desarrollo de la tecnología, producción, uso y aplicaciones del hidrógeno como combustible y vector de energía, ley 26123.

## Capítulo 2. Procesos y productos sustentables

### Introducción

*Horacio Rodríguez*<sup>1</sup>

Los objetivos de desarrollo sostenible

Como ya se ha mencionado previamente en distintos capítulos de esta obra, los Estados miembros de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) acordaron una propuesta de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) con el objetivo de lograr su cumplimiento para el año 2030 (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación, 2017). El cumplimiento de estos objetivos es de suma importancia para el futuro de la civilización, dado que el crecimiento económico global de las últimas décadas ha sido alimentado por un consumo de recursos naturales sin precedentes, provocando serios impactos ambientales a escala local, regional y global. Esto significa que grandes porciones de ecosistemas naturales han sido transformadas profundamente para el uso humano, lo que ha originado proyecciones netamente negativas sobre la capacidad de la base natural para sostener tal crecimiento (Bologna y Aquino, 2020). Es por ello que el principal objetivo general que se busca a través de la Agenda 2030 de la ONU, que es separar el crecimiento económico del uso de recursos y la degradación del medio ambiente logrando una mayor eficiencia de los recursos al mismo tiempo que una mejora en el bienestar de las personas, es esencial para las generaciones futuras.

Un aspecto crítico dentro de esta gran meta es lograr un cambio global hacia modalidades de consumo y producción más sostenibles (Naciones Unidas, 2018), y es por ello que el consumo y producción sustentable ocupa un lugar dentro de los ODS. De hecho, el Objetivo 12: «Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles», apunta a fomentar el uso eficiente de los recursos y la eficiencia energética y desarrollar infraestructuras sostenibles, con el objeto de promover un desarrollo que reduzca los costos económicos, ambientales y sociales de los procesos productivos (CEPAL, 2016). La importancia de este objetivo ha sido ratificada a nivel local. En el informe del año 2017 del programa CITIDES se ha identificado a los complejos patrones

---

1 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL. Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

de producción y consumo existentes en Argentina como uno de los principales obstáculos para el desarrollo sostenible (CITIDES, 2017).

### ¿Qué es la producción sustentable?

La noción de desarrollo implica un despliegue de las fuerzas productivas hacia un mejor nivel de vida para una sociedad. El desarrollo sustentable es aquel que además logra que dicho proceso tenga continuidad y que minimiza sus impactos ambientales, sin arriesgar el crecimiento y el desarrollo productivo de generaciones venideras.

En consonancia con lo anterior, se entiende por producción sustentable (ps) a un modelo de producción de bienes y servicios que reduce al mínimo posible el uso de recursos naturales, la generación de materiales tóxicos, residuos y emisiones contaminantes. El objetivo del consumo y la producción sostenibles es hacer más y mejores cosas con menores recursos, incrementando las ganancias netas de bienestar de las actividades económicas mediante la reducción de la utilización de los recursos, la degradación y la contaminación durante todo el ciclo de vida, logrando al mismo tiempo una mejor calidad de vida. Así es que la mejora en la optimización en el uso de las materias primas e insumos críticos como el agua y la energía, produce mejoras sustanciales en la reducción de costos productivos y genera ventajas competitivas para las empresas.

De acuerdo con el informe de 2017 del programa CITIDES, la producción sustentable es una estrategia de gestión empresarial que integra la dimensión ambiental con un enfoque preventivo y de administración eficiente de recursos, con el objeto de reducir riesgos a la salud y al ambiente, aumentando la competitividad de las empresas. Para la puesta en práctica de esta estrategia, importa el abordaje de diversos —pero convergentes— aspectos de la gestión ambiental y productiva de las empresas. Entre los abordajes posibles se destacan:

- la utilización de tecnologías que produzcan menos desechos y emisiones
- la optimización de las tecnologías disponibles
- el uso eficiente de agua, energía y materias primas
- la optimización del diseño del producto en todo su ciclo de vida

### Líneas de investigación activas en UNL

Las políticas de consumo y producción sostenibles son un mecanismo fundamental para mejorar los niveles de vida sin poner en juego las necesidades de recursos de las generaciones futuras. A partir de la adopción de la Agenda

2030, en el país se ha intensificado la elaboración de este tipo de instrumentos (Naciones Unidas, 2018).

En total consonancia con esta iniciativa que forma parte activa de la política nacional, la UNL ha sido generadora de herramientas y respuestas útiles para el diseño y puesta en práctica de modelos de producción y productos sustentables a través de diversas líneas de investigación y desarrollo. En este capítulo se describen los logros y avances de distintos grupos de investigación que brindan aportes significativos para lograr una producción y productos sustentables. En las siguientes páginas se describe la producción de látex híbridos que contengan proteínas, generando polímeros con propiedades superiores a las obtenidas a través del empleo de látex de polímeros sintéticos y permitiendo el reemplazo parcial de monómeros de origen petroquímico por un material proveniente de una fuente renovable y de elevada biodegradabilidad. Luego se abordan los avances logrados en el diseño de nuevos procesos de síntesis e inmovilización de nanopartículas metálicas en hidrogel/aerogel de celulosa usando métodos de síntesis y reactivos amigables con el medio ambiente, dando bases sólidas para nuevas tecnologías de mitigación de contaminantes en agua de consumo y de potencial transferencia a las industrias farmacéutica, avícola y ganadera. Con un enfoque similar y acorde a los principios de la Química verde, se detalla el empleo de biomateriales fibrosos de desecho de la región para el desarrollo de papeles cerámicos catalíticos optimizados para el tratamiento de efluentes gaseosos tanto de fuentes fijas (industrias que operan con importantes volúmenes de solventes, generando emisiones de compuestos orgánicos volátiles) como móviles (emisión de gases de medios de transporte). A continuación, se describe la síntesis de nuevos materiales iónicos con propiedades optimizadas para ser considerados como solventes verdes alternativos que reemplacen a los solventes orgánicos peligrosos y así enmarcar reacciones de sumo interés en diversos procesos industriales de química fina o biodisel dentro de los requerimientos de la Química verde. Por último, se detallan procesos de síntesis de nuevos materiales poliméricos de alto desempeño basados en fuentes renovables de origen regional con aplicación para problemas medioambientales, tales como resinas modificadas con derivados de ligninas para la liberación controlada de agroquímicos que permiten obtener formulaciones más eficientes y amigables con el ambiente.

## Híbridos látex–proteínas

*Roque J. Minari*<sup>2</sup> y *Luis M. Gugliotta*<sup>2</sup>

En los últimos años, existe un creciente interés en la búsqueda de nuevos materiales y nuevos procesos que contribuyan al cuidado del medioambiente y al desarrollo sustentable. Particularmente, la industria de polímeros ha realizado importantes esfuerzos para desarrollar procesos amigables con el medio ambiente, que eviten la emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC), y/o sustituyan total o parcialmente los monómeros derivados del petróleo por materias primas renovables. En este sentido, las proteínas de origen natural, un recurso altamente disponible de la actividad agroindustrial de la provincia de Santa Fe, tienen un gran potencial para la sustitución de los productos petroquímicos utilizados en la actualidad, puesto que a partir de dichos recursos se pueden obtener monómeros y polímeros de gran importancia tecnológica (Huber *et al.*, 2006). Particularmente, existe un elevado interés por la producción de látex híbridos que contengan proteínas, debido a que con esta estrategia se pueden diseñar productos que combinen la adaptabilidad de los polímeros sintéticos, con la estructura y funcionalidad de los biopolímeros. La sinergia entre los materiales naturales y sintéticos solo se alcanza mediante una adecuada compatibilización de las partículas híbridas (que forman parte de los látex en medio acuoso), que está determinada principalmente por la microestructura molecular de sus componentes y por la nanomorfología de tales partículas, obteniéndose propiedades superiores a las obtenidas a través del empleo de látex de polímeros sintéticos, o por simple mezcla de estos últimos con los materiales naturales. Además, esta estrategia de producción de materiales híbridos permite reemplazar, en parte, la composición de monómeros de origen petroquímico, por un material proveniente de una fuente renovable y de elevada biodegradabilidad, reduciendo su impacto ambiental e incrementando la sustentabilidad del proceso y del producto, ambos en base acuosa y con bajo contenido de VOC. Si bien muchas proteínas naturales aún continúan empleándose en algunos adhesivos y en la formulación de recubrimientos en muy baja concentración, la producción de nuevos látex nanoestructurados con propiedades y prestaciones mejoradas permite la eficiente incorporación de este recurso renovable en una segunda cadena de valor.

---

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET–UNL).

## Diagnóstico, recursos y oportunidades de la región

La provincia de Santa Fe tiene una gran actividad agroindustrial, es la mayor productora de aceites vegetales con uno de los polos oleoquímicos más importantes del mundo, forma parte de la mayor cuenca lechera global, su producción aviar está en permanente crecimiento, es la principal productora de biodiésel del país y posee una de las más importantes producciones de bioetanol. Buena parte de las actividades antedichas están relacionadas a procesos productivos que involucran en particular a la región centro norte de la provincia, donde se generan algunos subproductos que pueden utilizarse en segundas o terceras cadenas de valor. Por citar solo dos ejemplos, puede considerarse la producción de caña de azúcar y de maíz. Ambos cultivos posibilitan la producción de bioetanol, generándose residuos como el bagazo de la caña que contiene ligninas, que pueden emplearse en el desarrollo de otros productos poliméricos como son las resinas del formaldehído para mejorar sus propiedades; y residuos de maíz ricos en su proteína, la zeína. Además, de la producción láctea se destaca la disponibilidad de caseína bovina, un material con muy buena biocompatibilidad y biodegradabilidad, fácilmente disponible en grado industrial en alta pureza y bajo costo. Otras proteínas con alta disponibilidad industrial en la región son los derivados hidrolizados del colágeno (gelatinas e hidrolizados) los cuales tienen potencialidad para su incorporación en una posterior cadena de valor, para la producción de nuevos materiales con alto desempeño y mayor biodegradabilidad.

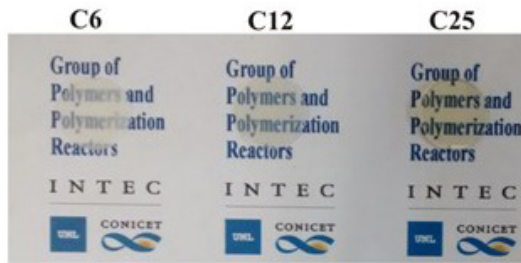
### Procesos sustentables: polimerizaciones con menor impacto ambiental

Diversas rutas de síntesis permiten la conjugación de una proteína con un polímero sintético, pero no todas permiten la formación de partículas híbridas dispersas en agua. En el Grupo de Polímeros y Reactores de Polimerización del INTEC, se ha contribuido con el desarrollo de la producción de látex híbridos a base de proteínas naturales con una importante sustitución de monómeros provenientes de fuentes petroquímicas. Los principales avances logrados se relacionan con el diseño de un proceso escalable mediante polimerización en emulsión para la producción de nanopartículas híbridas dispersas en agua (látex) a base de diferentes proteínas nativas de origen natural (es decir sin ningún tipo de modificación); o químicamente modificadas para controlar su compatibilidad con el polímero sintético acrílico (Picchio *et al.*, 2015). La principal ventaja de la polimerización en emulsión se debe a que el

empleo de agua abarata el proceso, y reduce la contaminación ambiental y la toxicidad del producto, con respecto al que se obtendría bajo procesos en solución de solventes orgánicos. Además, mediante la polimerización en emulsión se pueden sintetizar materiales poliméricos con altos contenidos de sólidos y mínimo contenido de VOC, lo que los hace industrialmente atractivos y de bajo impacto ambiental. Así, por ejemplo, se producen cauchos sintéticos, plásticos, pinturas, adhesivos, aditivos para papel y textiles, materiales de construcción, y modificadores de impacto. Es por ello que el empleo de la polimerización en emulsión en reactores convencionales, permite producir materiales híbridos polímero sintético/proteína, pudiendo llevarse a cabo su producción industrial sin cambios tecnológicos significativos.

Productos sustentables: recubrimientos, adhesivos, películas y nanopartículas de base proteica

El empleo de proteínas de origen natural para la obtención de látex híbridos se exploró con el propósito de obtener materiales formadores de película que puedan ser principalmente empleados para la formulación de recubrimientos, adhesivos y material de empaque (*packaging*). Se destaca el caso del uso de caseína, donde se investigó la producción de látex con caseína nativa y modificada químicamente (Picchio, 2016a). A pesar de que la caseína es un material duro y quebradizo, con una elevada temperatura de transición vítrea, los látex híbridos son capaces de formar películas flexibles a temperatura ambiente. La Figura 2.1.1 muestra tres películas con contenidos de caseína variables (6, 12 y 25 %). Esta tecnología fue ensayada con éxito para su aplicación como recubrimiento industrial de bajo impacto ambiental, adhesivo para etiquetado, *packaging* y recubrimiento entérico sensible al pH (Picchio *et al.*, 2016a–b, 2018a–b). Se destaca que se investigó la factibilidad industrial de la producción de estos materiales para recubrimientos industriales en colaboración con una empresa mundial líder en recubrimientos (Allnex, de los Países Bajos), siendo el principal resultado el bajo requerimiento de agentes de formulación que estos látex presentan (Picchio *et al.*, 2016b). En efecto, el poder plastificante que presenta el agua sobre la caseína durante el secado, favorece el proceso de formación de película, resultando productos con mínimo contenido de agentes de formulación (y por ende reducido VOC). Debido a que la caseína presenta alta susceptibilidad al agua, se ha investigado la incorporación de zeína (proteína hidrofóbica) a los látex a base de caseína con el propósito de mejorar su resistencia al agua y a solventes hidrofílicos (Allasia *et al.*, 2019).



**Figura 2.1.1.** Fotografías de las películas híbridas con diferentes concentraciones de caseína.

Empleando la misma estrategia de producción, se sintetizaron látex híbridos acrílicos con incorporación de proteínas de colágeno hidrolizado, para su potencial aplicación en bioadhesivos. Se destaca que fue posible controlar la composición del nanocompuesto, con el propósito de obtener películas con propiedades adhesivas regulables mediante su contenido de humedad. El control de la adhesividad en bioadhesivos a través de estímulos es una propiedad deseable para materiales de aplicación en el área de la salud humana y veterinaria.

Los biomateriales de nuestro interés poseen una excelente biodegradabilidad, ya que tienden a hidrolizarse y degradarse fácilmente bajo la acción de microorganismos. En cambio, los polímeros sintéticos presentan una muy baja velocidad de degradación, lo cual es un gran inconveniente desde el punto de vista medioambiental. Por lo tanto, la incorporación de proteínas de origen natural mejora la biodegradabilidad de los materiales híbridos respecto de los sintéticos, la que se ve incrementada con el contenido de biomaterial, tal como lo muestra la fotografía de la Figura 2.1.2 después de 14 días de biodegradación en condiciones de compostaje.



**Figura 2.1.2.** Imagen de películas degradadas luego de 14 días de enterramiento en suelo (los números contiguos a la letra C indican el contenido de caseína de cada uno de los films analizados).



Actualmente, también se está investigando la utilización de proteínas naturales (principalmente derivados de colágeno hidrolizado) para la formulación de un material híbrido que permite el recubrimiento y aglomeración de semillas. Esta investigación involucra el desarrollo de una tecnología capaz de restablecer los pastizales naturales de explotación ganadera, mediante su utilización en endozoocoria, donde el recubrimiento protege a las semillas de la digestión ruminal y ácida, cuando se los incorpora en la alimentación vacuna, permitiendo que las semillas lleguen viables al lugar de siembra a través de las heces en predios donde la siembra convencional se ve dificultada.

Finalmente, el empleo de proteínas naturales también abre la oportunidad para el desarrollo de materiales con funciones y propiedades muy específicas, como es el caso de la producción de nanomicelas de caseína para el transporte y liberación de fármacos (Picchio *et al.*, 2018c). En este caso, las nanomicelas obtenidas por autoensamblaje y entrecruzamiento químico presentan estabilidad y capacidad para responder frente al pH del medio y a la presencia de enzimas. Esta plataforma de liberación controlada, presenta un alto potencial para el desarrollo de formulaciones para el tratamiento y diagnóstico de tumores cancerígenos.

## Discusión final y conclusiones

Las proteínas de origen natural y de elevada disponibilidad regional a escala industrial, son un recurso renovable que brinda la posibilidad de producir látex híbridos con propiedades excepcionales derivadas de la sinergia entre el biomaterial y el polímero sintético. Este desarrollo representa un salto de sustentabilidad y de reducción del impacto ambiental para la industria de los materiales poliméricos. Además, involucra un proceso y un producto (látex) amigable con el medio ambiente por ser a base agua y con altos contenidos de sólidos, reduciendo notablemente la emisión de compuestos orgánicos volátiles cuando se los compara con sus homólogos a base solvente. Por otro lado, la incorporación de una proteína de origen natural y de producción regional, mejora la biodegradabilidad del producto final y reduce el contenido de monómeros acrílicos derivados del petróleo. En lo que refiere a la aplicación de estos materiales, se ha explorado su implementación como látex formadores de películas en recubrimientos, adhesivos y *packaging*. Además, se ha avanzado en la producción de novedosos nanovehículos a base de proteínas, con excelentes propiedades para su potencial aplicación en la formulación de fármacos para el tratamiento y diagnóstico de enfermedades oncológicas.

Por todo lo antes mencionado, se considera que la nueva tecnología desarrollada es factible de ser escalada a nivel industrial tendiente a la producción de nuevos materiales para diversas aplicaciones (por ejemplo, pinturas especiales para amoblamientos, adhesivos para el etiquetado de envases, películas para el embalaje de productos alimenticios), significando un valioso aporte a la sustentabilidad industrial, al evitar el uso de solventes contaminantes y permitir incorporar subproductos de la actividad agrícola y ganadera en segundas cadenas de valor; y dando lugar a materiales parcialmente biodegradables con propiedades mejoradas respecto de los que actualmente se utilizan en el mercado.

### **Síntesis e inmovilización de nanopartículas metálicas en hidrogel/aerogel de celulosa para aplicaciones catalíticas y biocidas**

*Alejandra Devard,<sup>3</sup> Claudia Taleb,<sup>4</sup> Graciela Olmos,<sup>5</sup>*

*Laura B. Gutiérrez<sup>4</sup> y F. Albana Marchesini<sup>4</sup>*

La problemática de la contaminación del agua no es nueva ni poco frecuente en nuestra provincia. Los inconvenientes a enfrentar van desde la contaminación de fuentes de agua subterránea y superficial con arsénico, cromo, nitratos y nitritos, así como también diversos productos orgánicos resultantes de la disposición sin tratamientos de aguas negras industriales y domiciliarias.

Una gran variedad de procedimientos ha tratado de mitigar estos tipos de contaminación, en las que se propone el empleo de un catalizador soportado en un material estructurado (óxidos metálicos, por ejemplo) depositando mediante el uso de diferentes tecnologías los sitios activos catalíticos. En el marco de esta línea de investigación, se emplean técnicas oxidativas y reductivas avanzadas para eliminar estos contaminantes utilizando catálisis heterogénea. Por otro lado, este proceso tiene un aporte de auto sustentabilidad al poder emplear como soporte material celulósico (Olmos, 2016), disuelto y regenerado para formar el soporte sólido y estructurado del catalizador, así como también el uso de sitios activos nano-particulados sintetizados empleando protocolos verdes.

La síntesis de materiales es un campo en constante actualización y crecimiento tendiente a lograr protocolos que se ajusten a los principios de la Química verde, esto es, alcanzar opciones económicas que no perjudiquen el ambiente. La necesidad de abordar nuevas tecnologías para la mitigación

---

3 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Investigaciones de Catálisis y Petroquímica «Ing. José Miguel Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).

4 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Tecnología Celulósica (ITC-UNL).

de contaminantes en agua de consumo ha dado relevancia el uso de nuevos catalizadores. Un sistema catalítico es un material compuesto formado por un soporte inerte y una fase activa que en general tiene tamaño nanométrico. Dentro de las aplicaciones de estos materiales es conocido que las nanopartículas de Cu o Ag tienen muy buena respuesta para el tratamiento de sistemas asépticos. Sin embargo, es necesario encontrar un material inerte biodegradable que sea capaz de inmovilizar las nanopartículas ya que las mismas tienen gran movilidad y se lixivian fácilmente. En este proyecto se vinculan dos grupos de investigación con experiencia en diferentes áreas de la síntesis de materiales para distintas aplicaciones tecnológicas, uno es el Instituto de Tecnología Celulósica (ITC) y otro el Instituto de Catálisis y Petroquímica (INCAPE).

En este marco se desarrolla la síntesis de materiales novedosos que presentan distintas aplicaciones, como es el caso de sistemas compuestos en los que se vincula un soporte económico, renovable y amigable con el ambiente como es la celulosa (Olmos *et al.*, 2018) con nanopartículas de Cu o Pd, para fines catalíticos y biocidas. En primera instancia se preparan hidrogeles de celulosa nanoporosos, en forma de esferas a partir de soluciones de celulosa, como soporte de las nanopartículas metálicas. Luego se inmovilizan las nanopartículas de Cu o Pd por reducción in situ en la estructura 3D del gel de celulosa poroso, con el agregado de agentes reductores verdes como glucosa, ácido ascórbico, ftalato de sodio o citrato de sodio o bien sin el agregado de un reductor, utilizando la propia actividad reductora de la celulosa.

El rendimiento de estos catalizadores se analiza sobre la eliminación de contaminantes en agua (nitratos, nitritos y contaminantes emergentes). En relación con la eliminación de nitratos y nitritos se han desarrollado numerosos catalizadores y se ha evaluado su eficiencia (Zoppas *et al.*, 2018a; Marchesini *et al.*, 2008; Zoppas *et al.*, 2018b). En este trabajo se modificaron los métodos de síntesis empleados y el tipo de reductor utilizado para la eliminación catalítica de los nitratos y nitritos orientados hacia las metodologías verdes. En relación con la mineralización de los compuestos orgánicos, o contaminantes emergentes persistentes en nuestra región, el estudio se inicia empleando una molécula prueba para mineralizar, en este caso el fenol (Devard *et al.*, 2019). Luego en función del contaminante persistente elegido, se estudia la reacción de mineralización del mismo, en presencia del catalizador y agua oxigenada, que actúa como agente oxidante, evaluando el nivel de mineralización alcanzado.

El objetivo principal es la optimización de los métodos de preparación de estos materiales compuestos, de tal manera que confluya a la selección del catalizador más adecuado para las aplicaciones propuestas. Por lo tanto, como soportes se emplea un material muy abundante en la naturaleza, biodegradable y biocompatible como lo es la celulosa. Tanto en la preparación de los productos de celulosa regenerada, moldeados en forma de esferas o películas (Olmos *et al.*, 2017), como en la síntesis de nanopartículas metálicas y óxido-metálicas soportadas en la celulosa, se emplean métodos de síntesis y reactivos amigables con el medio ambiente.

Hasta el momento las conversiones alcanzadas fueron mayores al 90 %, esto muestra que los catalizadores de Cu soportados sobre esferas de celulosa resultan activos y eficientes para la eliminación de contaminantes emergentes empleando fenol como molécula modelo (Taleb *et al.*, 2019). Estos resultados constituyen un prometedor aporte que posibilitaría el desarrollo de posteriores escalamientos de los procesos estudiados tanto para los contaminantes modelo como para los que efectivamente se constituyen como un problema en nuestro medio, tales como caféina, ibuprofeno, atenolol, carbamacepinas, estrógenos, atrazina y glifosato.

Se considera que estos catalizadores estructurados, pueden empacarse fácilmente en columnas para emplearlas como extractores y degradantes catalíticos de los contaminantes presentes en el agua. Así, realizando un estudio de las condiciones de operación, podría escalarse hasta el tratamiento de un mayor volumen de agua contaminada, el cual puede ser aplicado a diversas industrias que tengan efluentes concentrados en moléculas orgánicas, tales como por ejemplo las farmacéuticas que producen medicamentos para uso humano y uso veterinario. Estas industrias pueden generar grandes volúmenes de soluciones empleadas en lavado de equipamiento que estuvo en contacto con los principios activos. También se puede emplear en el tratamiento de efluentes de la industria avícola y ganadera, ya que estos son ricos en antibióticos, hormonas, etc. Todo esto constituye una posibilidad de tratamiento del agua antes de ser incorporada en los ecosistemas nuevamente.

## **Empleo de biomateriales fibrosos de la región para el desarrollo de estructuras catalíticas aplicables al tratamiento de efluentes gaseosos industriales**

*Viviana G. Milt,<sup>5</sup> Ezequiel D. Banús<sup>5</sup> y Eduardo E. Miró<sup>5</sup>*

En la región centro norte de la provincia de Santa Fe se generan cantidades considerables de biomateriales de desecho provenientes de diversos sectores agroindustriales, muchos de ellos en forma de materiales fibrosos. Ejemplo de ello son los descartes de la industria textil que usa fibras de algodón. Los desechos de actividades netamente agrícolas constituyen otro ejemplo de descarte de materiales fibrosos, que generalmente son quemados o destinados al relleno de terrenos. A su vez, la industria del papel genera una cantidad importante de residuos de fibras celulósicas, una parte de los cuales se aprovecha para la producción de papeles y cartones. Específicamente, en este trabajo se reportan resultados obtenidos en cuanto al uso de fibras recicladas para la obtención de materiales para aplicaciones ambientales de un modo sustentable. Una gran variedad de tecnologías aplicadas a la mejora del medio ambiente se basa en procesos catalíticos (Milt *et al.*, 2003). La generación de nuevos catalizadores estructurados con diseños especiales para aplicaciones ambientales o productivas es un concepto que ha generado mucho interés en esta última década. Con el empleo de estos sistemas se intenta obtener propiedades beneficiosas, tales como una alta relación superficie/volumen, elevada porosidad y baja pérdida de carga (Leonardi *et al.*, 2017). La utilización de biomateriales de desecho o reutilización de materiales orgánicos constituye una vía eco-compatible para el diseño y desarrollo de catalizadores estructurados. Estos biomateriales pueden utilizarse como plantillas o *templates* para obtener estructuras cerámicas, por ejemplo, en forma de fibras para conformar papeles cerámicos (Tuler *et al.*, 2015), fibras y esferas huecas (Stegmayer *et al.*, en prensa), o como agentes generadores de poros en estructuras monolíticas (Tuler *et al.*, 2016).

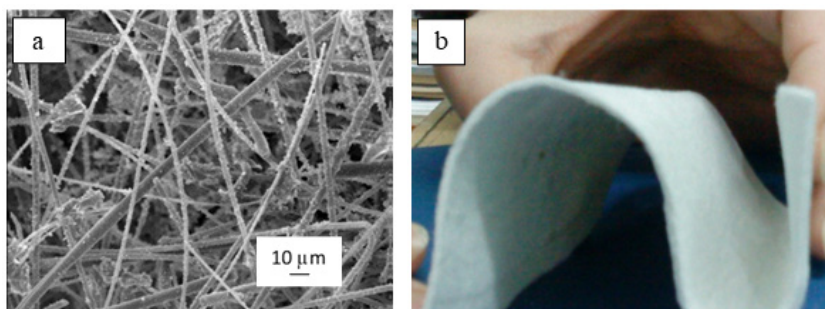
---

5 Facultad de Ingeniería Química, Instituto de Investigaciones de Catálisis y Petroquímica «Ing. José Miguel Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).

## Procesos para la producción de estructuras catalíticas

### Preparación de papeles cerámicos

Desde el año 2010 se viene trabajando en colaboración con el ITC en el desarrollo de papeles cerámicos catalíticos (Banús *et al.*, 2010). Se ha desarrollado una metodología empleando fibras cerámicas ( $\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  o  $\text{ZrO}_2$ ) y fibras celulósicas recicladas, obtenidas por desintegración de papel de calidad de recorte DLK (consistente en cartón corrugado no impreso, cajas, hojas o recortes de papeles kraft con alto contenido de fibra larga). La retención de las fibras cerámicas se logra a través del empleo de polielectrolitos. La ruta de síntesis permite, luego de una etapa de calcinación, la obtención de papeles resistentes a altas temperaturas, los cuales poseen un grado elevado de entrecruzamiento de las fibras (Figura 2.3.1a) y fácilmente adaptables a diferentes conformaciones y geometrías (Figura 2.3.1b). De esta manera, se genera un entramado con macroporos sobre el cual se depositan las fases activas conformando el manto catalítico.



**Figura 2.3.1.** Micrografía SEM que muestra el arreglo de microfibras cerámicas en la estructura del papel cerámico (a) y fotografía de un papel cerámico (b).

### Ensamblado de cartuchos catalíticos

Este tipo de sistema es fácilmente adaptable tanto a fuentes fijas como móviles. Para la construcción de los mismos se combinan los discos de papeles cerámicos con mallas metálicas, las cuales otorgan resistencia mecánica para evitar la destrucción del papel cuando es sometido a altos flujos de gases o vibraciones. La disposición de papeles y mallas se obtiene o bien alternando los mismos o incorporando las mallas metálicas de acero inoxidable durante la generación del papel, de modo que las fibras metálicas se sitúan en el interior de la mata. A su vez, los cartuchos pueden ser utilizados como filtros que retengan

partículas, tal es el caso de la aplicación al tratamiento de emisiones de motores diésel, o bien como catalizadores para la combustión de COVs presentes en efluentes industriales, en cuyo caso la mata cerámica (papel) puede no estar presente. En lo que sigue se describen dichas aplicaciones.

#### Aplicación de los catalizadores estructurados al tratamiento de emisiones gaseosas

Las estructuras se aplican al posttratamiento de efluentes gaseosos tanto de fuentes fijas (industrias) como móviles (medios de transporte). Si bien las problemáticas tienen aspectos diferenciados, existe un buen número de sustancias tóxicas a eliminar que son comunes a ambas fuentes (compuestos orgánicos volátiles, monóxido de carbono, partículas de hollín, óxidos de nitrógeno).

#### Remoción de partículas carbonosas

Esta aplicación se ha reportado principalmente para el tratamiento de gases de escape de motores diésel, aunque también el concepto de filtros catalíticos es aplicable a fuentes estacionarias que emiten partículas carbonosas. Se ha concretado el uso en un motor diésel (Tuler *et al.*, 2014). A tal fin se montó un banco de pruebas que consta de un motor Fiat 1.7 Td con cuatro cilindros en línea, 1697 cm<sup>3</sup> de cilindrada, un diámetro por carrera de 82,6 x 79,2 mm, árbol de levas a la cabeza, dos válvulas por cilindro, inyección indirecta con turbocompresor, relación de compresión 20,3:1 con potencia máxima de 72 CV a 4500 rpm y torque máximo de 14 kgm a 2 575 rpm (Figura 2.3.2a).

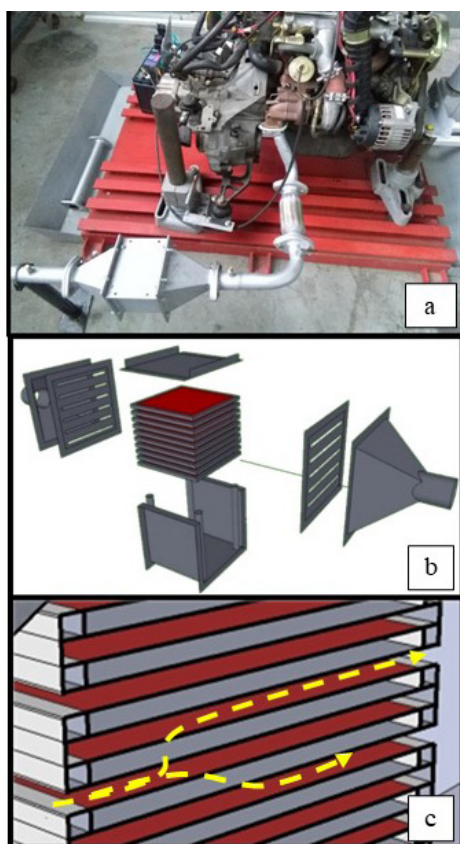
El motor es monitoreado mediante un tablero con instrumentos tipo analógico que registran número de revoluciones del motor (rpm), temperatura y presión de aceite, temperatura del refrigerante, presión del turbocompresor y voltaje de la batería. Además, cuenta con sensores de funcionamiento del electroventilador, alternador, bomba de agua y bujías de precalentamiento. En la Figura 2.3.2b se muestra un esquema del despiece del filtro catalítico desarrollado. A la salida del mismo se monitorea la cantidad de hollín emitida.

#### Eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COVs)

Existen en la región numerosas industrias relacionadas a la fabricación de pinturas, muebles y envases que operan con importantes volúmenes de solventes,

generando emisiones de COVs (compuestos orgánicos volátiles). Estos compuestos se pueden eliminar mediante procesos de adsorción y/o combustión. Para la oxidación catalítica de los mismos, los catalizadores a emplear deben satisfacer requerimientos de actividad para eliminar COVs, selectividad a la oxidación a  $\text{CO}_2$  (de modo de no generar compuestos secundarios tóxicos) y estabilidad. En general, los efluentes poseen niveles de COVs relativamente bajos (100 a 10 000 ppm), altos caudales a temperaturas ambiente, y usualmente son mezclas de compuestos orgánicos de cadena lineal, aromáticos y oxigenados.

En esta aplicación se utilizaron cartuchos de mallas metálicas apiladas impregnadas con catalizadores de oxidación. Se ha logrado la combustión completa de tolueno, hexano y acetato de etilo a  $300\text{ }^\circ\text{C}$  (Godoy *et al.*, 2019). A su vez, resultó exitosa la aplicación de cartuchos de papeles cerámicos para la eliminación de tolueno por adsorción (Cecchini *et al.*, 2011).



**Figura 2.3.2.** Prototipo del filtro de partículas para el tratamiento de emisiones diésel. Banco de pruebas montado (a), despiece de la carcasa que aloja los filtros catalíticos (b) y flujo de gases a través del filtro (c).



## Conclusiones-recomendaciones

La generación de residuos fibrosos por parte de industrias de la región representa una múltiple oportunidad para la mejora del medio ambiente y obtención de recursos por vías sustentables. Por un lado, se aprovechan desechos cuyo tratamiento actual representa un problema y produce costos. Por el otro, el desarrollo de procesos catalíticos que empleen los residuos para la eliminación de contaminantes de la atmósfera es una oportunidad para una actividad industrial de alta tecnología que no se ha desarrollado en la región. Y a su vez, estos procesos podrán ser utilizados en empresas para purificar sus efluentes gaseosos, por ejemplo, aquellas que emplean solventes y producen emisiones que contienen compuestos orgánicos volátiles tóxicos. A fin de lograr desarrollar esta temática de modo de obtener un impacto positivo sobre el medio socioeconómico de la región, sería recomendable realizar un relevamiento de las empresas que generan desechos con las características mencionadas y aquellas que tienen necesidad de purificación de sus efluentes gaseosos.

### **Síntesis de nuevos materiales iónicos sobre la base estructural de líquidos iónicos. Correlación entre la estructura de estos materiales, sus propiedades fisicoquímicas y las tareas específicas para los que fueron diseñados**

*Claudia Adam,<sup>6</sup> María Fernanda Plano<sup>6</sup> y María Virginia Bravo<sup>6</sup>*

La problemática de la contaminación ambiental requiere un abordaje multidisciplinario. En este sentido nuestro aporte aborda el estudio de solventes alternativos que reemplacen a los solventes orgánicos peligrosos (vocs). Los solventes verdes deben tener características tales como: no volátiles para reducir la contaminación del aire; no inflamable para garantizar la seguridad durante el proceso; ser estable para favorecer el reciclaje y reutilización potencial; ser sintetizado por un procedimiento sintético respetuoso con el medio ambiente; no tóxico y biodegradable.

Los líquidos iónicos (LIs) cumplen con algunas de las características enumeradas. Son de especial interés para los ingenieros y/o tecnólogos, principalmente por su baja inflamabilidad y volatilidad, y merecen una atención especial por parte de la comunidad científica. Los LIs son sales orgánicas formadas por un catión generalmente orgánico y un anión inorgánico con pun-

---

<sup>6</sup> Facultad de Ingeniería Química, Instituto de Química Aplicada del Litoral (IQAL), (CONICET-UNL).

tos de fusión menores a 100 °C. Son también llamados *solventes de diseño* debido a que sus propiedades pueden ser moduladas y/o mejoradas modificando la estructura catiónica y/o aniónica. La combinación adecuada de catión–anión da lugar a LIS diferentes: solubles/insolubles en agua, con propiedades anfífilas, con características próticas/apróticas o con propiedades ácido de Brønsted potenciadas.

Dentro de este marco de referencia, es importante denotar que, si nuestra intención como químicos es que estos LIS sean útiles en procesos reactivos y/o extractivos aplicables industrialmente, sus propiedades y su comportamiento sobre sistemas reactivos debe ser interpretado profundamente. En este sentido, las autoras y colaboradores han realizado numerosos aportes acerca del diseño de estos LIS y sus propiedades específicas.

Los LIS derivados de aminas primarias, secundarias y terciarias con contraiones nitrato y acetato presentan un protón en su estructura, por lo que le confieren características ácidas que se ponen de manifiesto frente a reactivos capaces de aceptar dicho protón (Adam *et al.*, 2009). De este modo fue posible analizar la capacidad de reacción del precursor del LIS (etilamina) en condiciones seguras y amigables. Además, es posible modular sus comportamientos ácido–base con pequeños agregados de solventes moleculares, los alcoholes potencian sus propiedades ácidas, mientras que en presencia de mínimas cantidades de dimetilsulfoxido estos LIS manifiestan propiedades básicas. Esto permite modular sus propiedades a nuestro beneficio (Adam *et al.*, 2014).

En base a comportamientos específicos observados en estos LIS, fue posible diseñar estrategias de síntesis enmarcadas dentro de los principios de la Química verde. Específicamente se desarrolló la síntesis en una etapa de aminas alílicas y  $\beta$ -aminoésteres a partir de dienos y ésteres vinílicos respectivamente. Estas funcionalidades son importantes ya que están presentes en numerosos compuestos naturales (Adam *et al.*, 2019).

Por otro lado, con el objeto de comprender los mecanismos de solvatación en LIS de base 1–butil–3–metilmidazolío con contraiones bromuro y tetrafluorborato, sus propiedades microscópicas fueron determinadas. Se pudo demostrar la formación de un complejo intersolventes entre las moléculas de LI y agua como solvente. Estas formaciones modifican las propiedades del agua (solvente verde por excelencia) obteniendo mezclas con propiedades ácidas resaltadas cuando el contraión es tetrafluorborato y algo más básicas con el contraión bromuro (Adam *et al.*, 2014).

Las numerosas aplicaciones que los surfactantes presentan en pinturas, lubricantes, en la disolución de herbicidas y/o fármacos, hace que esta industria se encuentre en continuo crecimiento y actualización constante. Por ello resulta necesario el diseño de nuevos surfactantes con características mejoradas que

generen poco o ningún impacto ambiental. Así, una nueva línea de surfactantes iónicos, sobre la base del N–alquil–N–metilimidazolio fueron presentados. Se determinó la mínima concentración necesaria de este nuevo surfactante para observar la agregación en fase acuosa (concentración micelar crítica–CMC). Además, se analizó la influencia del contraíón en la formación de la arquitectura micelar. Estas propiedades permitieron utilizar estos sistemas nanoestructurados en la síntesis de nanopartículas de paladio (NPS–Pd) en un ambiente acuoso y más benigno. La adecuada selección del contraíón no solo permite regular el tamaño de las NPS sino que a su vez actúa como estabilizante de las mismas, evitando la aglomeración (Adam *et al.*, 2017).

Los resultados anteriores permitieron diseñar LIS anfífilicos con características próticas, del tipo 1–alquilimidazolio con ocho, diez, doce, catorce y dieciséis átomos de carbono en la cadena alquílica. Los contraiones se variaron a metanosulfonato y trifluoracetato, observándose que los LIS combinados con este último anión proveen valores de CMC más bajos que los N, N–dialquilimidazolios y que los surfactantes tradicionales. Resultando más polares debido a la mayor incorporación de más moléculas de agua en su estructura micelar. Todo lo cual, repercute directamente en su aplicación más amigable con el medio ambiente. (Adam *et al.*, 2019).

Como se puede observar, la modificación estructural de los LIS es crucial para resaltar cierta propiedad que permite su empleo en un área específica. Actualmente, debido a la crisis provocada por el calentamiento global, la búsqueda de combustibles alternativos al petróleo ha recibido una considerable atención y, más específicamente, el biodiésel por sus propiedades amigables con el medio ambiente y por obtenerse de fuentes renovables y económicas. Si bien en la producción de biodiésel la catálisis ácida es la preferida, los ácidos inorgánicos utilizados tales como el sulfúrico o clorhídrico presentan ciertas desventajas como extremos cuidados en la manipulación entre otros, por lo que son altamente peligrosos y, además no son amigables con el medio ambiente. En consecuencia, es importante diseñar catalizadores que permitan superar los problemas existentes y en este sentido el grupo pretende aportar el diseño de materiales *inteligentes* sobre la base estructural de LIS. Se desarrolló la síntesis de materiales iónicos llamados task specific ionic liquid (TSILs), es decir LIS diseñados para que desarrollen una acción específica sobre un sistema particular. Se funcionalizó la cadena alquílica presente en el anillo imidazol con el agregado de un grupo funcional sulfónico ( $-\text{SO}_3\text{H}$ ), con el objeto de potenciar sus propiedades ácido de Brønsted. Se sintetizaron materiales iónicos de base imidazólica tales como: 1–butil–3–metilimidazolio [bmim] y 1–(4–ácido sulfónico)–butil–3–metilimidazolio [bsmim] con contraíón bisulfato y cloruro, se caracterizaron y se determinaron sus propiedades. Se

analizó su comportamiento como catalizador ácido de Brønsted en reacciones de esterificación de ácidos carboxílicos de variada complejidad estructural manteniendo fijo el alcohol o sea el etanol. Este alcohol fue seleccionado porque proviene de fuentes renovables, es más seguro, y menos tóxico. En lo posible, con el diseño del LI se pretende desplazar el equilibrio químico de la reacción de esterificación tomada como modelo, transfiriendo el producto de interés a una fase diferente a la de los reactivos iniciales. Los resultados fueron comparados respecto a los obtenidos con [bmim] y, respecto al catalizador inorgánico tradicionalmente empleado, el ácido sulfúrico. Además, se estudió si el cambio del contraíón podría mejorar la transferencia del producto y por ende desplazar el equilibrio químico de la reacción. Otra opción que se manejó es soportar este material sintetizado sobre sílice, por el método de sol-gel. Así, se estaría mejorando la manipulación del material cuando se trabaja en grandes escalas y consecuentemente la mejora en la seguridad del proceso. Los resultados emergentes indican que ambos TSIL: [bmim] y [bsmim] con contraíón bisulfato, presentan rendimientos en la reacción modelo seleccionada del mismo orden que cuando el catalizador es ácido sulfúrico, incluso se observó la separación de fases al finalizar la reacción. La capa más densa corresponde al TSIL, alcohol, agua de reacción y la fase superior corresponde mayoritariamente al éster, producto de la reacción. En ambos casos fue posible reutilizar el catalizador diseñado hasta cuatro ciclos sin pérdida de su comportamiento. Finalmente, esta *nueva clase* de LIS permite mejorar las condiciones enmarcando una reacción de sumo interés en diversos procesos industriales como productos de química fina o biodiésel dentro de los requerimientos de la Química verde.

En este sentido es importante resaltar que todo el conocimiento adquirido dentro de la investigación básica desarrollada por el grupo de trabajo, permite no solo crear conciencia acerca de la importancia en reducir el consumo de solventes orgánicos volátiles (COVs), sino también se pretende hacer visible la idea que es posible reemplazarlos por materiales *hechos a medida* para cada proceso industrial. Así, se podrían aplicar a lo largo de un proceso de interés industrial o en la química fina, o también sería posible solo modificar alguna etapa crítica o contaminante dentro del mismo, además es posible optimizar las etapas finales de obtención del producto, como por ejemplo favorecer la transferencia del producto a una fase diferente específicamente en procesos inherentes a la química fina minimizando así las etapas de purificación del producto.

Para explotar al máximo todas las potencialidades que estos nuevos solventes presentan y extender sus aplicaciones más allá de lo académico, es necesario un cambio de paradigma. Sus propiedades particulares tales como baja

inflamabilidad y volatilidad conducen a modificar procesos clásicos y altamente arraigados en nuestra industria. El uso de estos LIS obliga a redefinir el término «solvente» y rediseñar nuevas tecnologías *adaptándolas* a las propiedades específicas que ellos presentan para así lograr su implementación de modo masivo en plantas industriales. Estos *nuevos solventes verdes* causan un gran cambio en el significado y el uso clásico del solvente dejando de lado viejos hábitos (como la evaporación del COVs después de terminado un proceso industrial) e incluso su elevada reciclabilidad minimiza la eliminación de residuos, por lo que este tópico resulta aún, todo un reto.

### **Desarrollo de materiales poliméricos y tecnologías sustentables basados en el uso de fuentes renovables regionales**

*Carlos A. Bussatto*<sup>7</sup> y *Diana A. Estenoz*<sup>8</sup>

En los últimos años, existe un creciente interés en la búsqueda de nuevos materiales y nuevos procesos que contribuyan al cuidado del medioambiente y al desarrollo sustentable, asegurando su performance y reduciendo costos.

En el campo de los polímeros, las actividades industriales están en permanente expansión. Sin embargo, actualmente enfrentan varios desafíos relacionados con la creciente demanda del mercado, las exigencias de calidad, los costos de las materias primas y las regulaciones medioambientales y de sustentabilidad cada vez más estrictas. Por ello, crece día a día el interés en el desarrollo de estrategias que permitan evaluar el potencial uso de sustancias naturales, reemplazando total o parcialmente los productos sintéticos.

Como ya se detalló anteriormente, la región centro de Argentina, y en especial la provincia de Santa Fe, presenta una gran actividad agroindustrial. Es la mayor productora de aceites vegetales a nivel nacional, forma parte de la cuenca lechera más importante del mundo, y tiene la mayor producción de biodiésel del país. La región alberga además industrias de pulpa de celulosa y papel, y tiene una actividad industrial pujante y en crecimiento en diferentes ramas tales como industria de aglomerados y laminados, de adhesivos, procesadoras de plásticos y de poliuretanos, farmacéuticas, de productos veterinarios y biotecnológicos, entre otras.

Las materias primas, subproductos y residuos de las actividades antedichas pueden utilizarse en segundas o terceras cadenas de valor para el desarrollo de

---

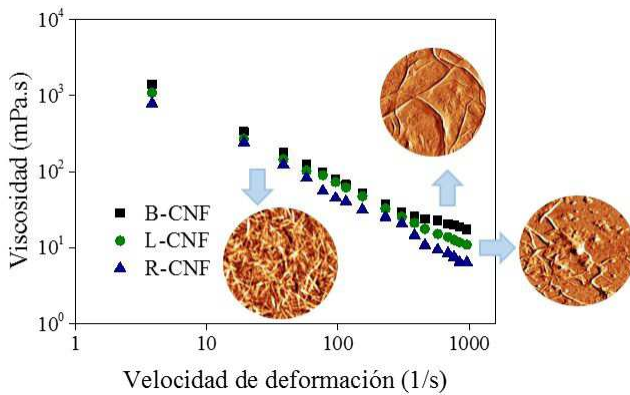
7 Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), (CONICET-UNL).

8 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), (CONICET-UNL).

procesos y productos sustentables. En este sentido, la valorización de productos lignocelulósicos resulta una alternativa atractiva debido a su costo, abundancia y renovabilidad para el desarrollo de materiales y procesos sustentables desde el punto de vista ambiental, social y económico.

## Procesos sustentables

Se estudió el diseño eficiente de fluidos de perforación en base agua (WBMS) aplicados a formaciones shale de Argentina. Se diseñaron WBMS sustentables desde el punto de vista económico, ambiental y de performance, aplicados a formaciones shale de Argentina (Vaca Muerta). En particular, se investigó el reemplazo de un aditivo tradicionalmente utilizado en los WBMS, la goma xantana (XGD), por nanofibrillas de celulosa (CNFs) obtenidas a partir de diferentes fuentes y tratamientos, procurando obtener ventajas económicas y ambientales y, a la vez, asegurando una adecuada performance. Para el reemplazo se consideraron tres tipos de nanocelulosas: la primera obtenida a partir de un tratamiento de una pulpa kraft de abedul blanqueada (B-CNF), la segunda, a partir de una pulpa kraft de eucalipto no blanqueada (L-CNF), y la tercera, a partir del residuo obtenido de la producción de nanocristales de celulosa (R-CNF) (Figura 2.5.1). Los fluidos se caracterizaron en cuanto a sus propiedades reológicas, de filtración, térmicas, morfológicas y estructurales. Además, el comportamiento reológico se estudió teóricamente mediante la implementación de diferentes modelos. Los WBMS diseñados presentaron características reológicas comparables con los fluidos de perforación en base aceite tradicionalmente usados en la industria del petróleo (Villada *et al.*, 2017). Además, se observaron comportamientos reológicos muy similares al fluido tradicional conteniendo XGD con el doble de concentración de L-CNF y R-CNF, una mayor estabilidad térmica para los WBMS conteniendo R-CNF y L-CNF, formación de films y mayor aglomeración de partículas con el incremento de la concentración de L-CNF y R-CNF, menores volúmenes de filtrado para el fluido con R-CNF cercanos al valor requerido a nivel industrial ( $< 10$  mL), y viscosidades plásticas dentro del rango de interés tecnológico (20–50 mPa.s) (Villada *et al.*, 2018).



**Figura 2.5.1.** Resultados reológicos de las suspensiones de B-CNF, L-CNF y R-CNF.

## Productos sustentables

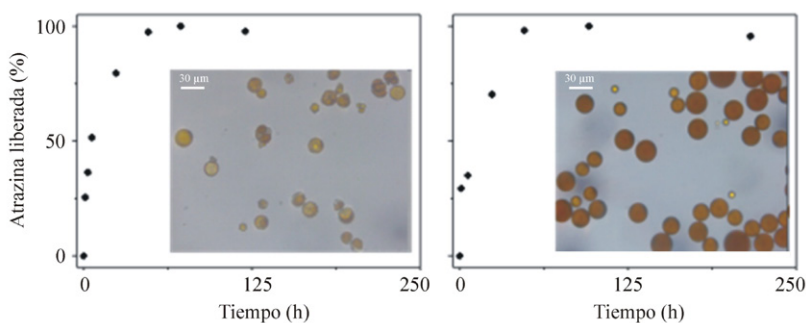
a) *Resinas del formaldehído modificadas con derivados de la lignina.* Se caracterizaron ligninas provenientes de mezclas de eucaliptos aisladas de un proceso kraft y al sulfito, y una lignina de bagazo de caña del tipo organosolv. Se observó que la composición de la lignina es muy variable y que la mejor alternativa de reemplazo de fenol en la síntesis de resinas de fenol-formaldehído del tipo resol es el lignosulfonato de sodio, ya que es soluble en medio acuoso, al igual que los resoles. Con el fin de incrementar la reactividad de las ligninas, se llevaron a cabo reacciones de hidroximetilación entre la lignina y el formaldehído en medio básico y se optimizaron las condiciones de reacción (Taverna *et al.*, 2019). Una vez caracterizadas y activadas las ligninas, se sintetizaron y caracterizaron cuatro resoles industriales modificados, destinados a la impregnación de papeles del tipo kraft para la obtención de laminados decorativos con reemplazos de un 10, 20 y 30 % m/m de fenol. Las características finales de las resinas modificadas resultaron similares a las tradicionales. Para los laminados, se realizaron ensayos viscoelásticos, térmicos y pruebas mecánicas tales como ensayos de flexión, tracción, impacto por caída de bola (Figura 2.5.2) y fractura interlaminar (Taverna *et al.*, 2015, 2018a). Para ambos casos, reemplazos de lignina inferiores al 30 % m/m de fenol garantizaron propiedades térmicas, mecánicas y viscoelásticas similares a los materiales tradicionales.



**Figura 2.5.2.** Test de impacto en un laminado decorativo modificado con 20 % m/m de lignina.

b) *Micropartículas de lignina aplicadas a la liberación controlada de agroquímicos.* Se estudió el empleo de diferentes ligninas para la encapsulación de agroquímicos con el propósito de obtener formulaciones más eficientes y amigables con el ambiente. Estos sistemas permiten reducir la dosis de agroquímico empleada, disminuir el riesgo de contaminación ambiental y proteger los principios activos frente a factores ambientales. Se estudió la encapsulación del herbicida atrazina empleando ligninas organosolubles e iónica provenientes de bagazo de caña y abedul, respectivamente. Para este fin se investigaron diferentes estrategias de producción de micropartículas, tales como el método de extracción/evaporación de solvente, la microfluídica y la tecnología de *spray-drying*. Se evaluaron los perfiles de liberación del principio activo en agua (Figura 2.5.3), obteniéndose perfiles de liberación sostenidos durante más de 48 horas (Taverna *et al.*, 2018b). Además, se estudió la movilidad de la atrazina en suelos agrícolas de la región, observándose menores concentraciones de atrazina en los lixiviados en comparación con la atrazina libre. Mediante la técnica de microfluídica se logró controlar la morfología de las partículas, y la inclusión de las mismas en geles de alginato permitió extender los perfiles de liberación del herbicida (Busatto *et al.*, 2019).





**Figura 2.5.3.** Perfiles de liberación de atrazina a partir de micropartículas de lignina: a) Organosolv; b) iónica.

### Discusión final y conclusiones

El desarrollo de resinas modificadas con derivados de ligninas y de sistemas de liberación controlada de agroquímicos constituyen alternativas atractivas para la valorización de ligninas de la región con el fin de obtener productos de alto valor agregado y bajo impacto ambiental. Las ligninas también pueden emplearse para otras aplicaciones de interés industrial, tales como la síntesis de polibenzoxazinas (polímeros termoestables de alta performance) y la producción de termoplásticos reforzados con ligninas (poliácido láctico, polióxido de etileno y poliolefinas).

La producción de hidrocarburos a partir de reservas no convencionales tipo *shale gas* y *shale oil* requiere de la implementación de una tecnología calificada y avanzada para su explotación. Es por ello que el diseño de nuevos WBMS contribuye a un área de gran interés actual para la industria energética de Argentina. Por otra parte, el reemplazo de aditivos comúnmente utilizados en los WBMS por otros provenientes de fuentes renovables amplía la posibilidad de explorar otros recursos obtenidos en la región. Además, la metodología empleada puede extenderse a otros reservorios no convencionales tipo shale.

Finalmente, el empleo de aceites vegetales provenientes de la región para la obtención de precursores con funcionalidades específicas (amino y policarbonato) utilizados en la síntesis de poliuretanos libres de isocianato y poliaminas, como así también el uso de lactosuero para la obtención de poliácido láctico, constituyen importantes alternativas para el desarrollo tecnológico sustentable de la región.

El diseño integral de procesos de síntesis de nuevos materiales poliméricos de alto desempeño basados en fuentes renovables de origen regional es un gran desafío científico y tecnológico. Los avances promueven la colaboración y la vinculación con empresas de la región e incentiva la adopción de los desarrollos, generando beneficios asociados a soluciones de problemas medioambientales y a la expansión de industrias por medio de la utilización y/o la generación de valor agregado a residuos, subproductos y productos.

## Referencias bibliográficas del capítulo 2

### Introducción

- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (2017). Herramientas para una producción sustentable. MÓDULO I Sustentabilidad en procesos productivos y actividades de servicio.
- Bologna M. & Aquino G. (2020). Deforestation and world population sustainability: a quantitative analysis. *Nature Scientific Reports*, 10:7631. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63657-6> 1
- Naciones Unidas (2018). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2018. Nueva York.
- CEPAL (2016). Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Una oportunidad para América Latina y el Caribe. Naciones Unidas.
- CITIDES (2017). Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sustentable. Identificación de las problemáticas centrales de la Argentina para alcanzar un desarrollo sustentable. Sugerencias para superarlas desde el ámbito de incumbencia del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.

### Híbridos látex–proteínas

- Allasia, M.; Passeggi, (Jr) M. C. G. (...) Minari, R. J. (2019). Waterborne hybrid acrylic/proteins nano composites with enhanced hydrophobicity by incorporating a water repelling protein, *Ind. & Eng. Chem. Res.*; 58, 46, 21070–21079.
- Huber, G. W.; Iborra, S. & Corma, A. (2006). Synthesis of transportation fuels from biomass: chemistry, catalysts, and engineering. *Chem. Rev.* 106(9), 4044–4098.
- Picchio, M. L.; Passeggi, (Jr) M. C. G. (...) Minari, R. J. (2015). Waterborne Acrylic–Casein Latexes as Eco–friendly Binders for Coatings, *Prog. Org. Coat.*; 88, 8–16.
- Picchio, M. L. (2016a). Nanopartículas híbridas acrílico/caseína dispersos en agua para su empleo como recubrimiento de bajo impacto ambiental (tesis inédita de doctorado). Ingeniería Química, Universidad Nacional del Litoral.

- Picchio, M. L.; Bohórquez, S. J. (...) Minari, R. J. (2016b). Waterborne Casein-Based Latexes with High Solids Content and Their High-Throughput Coating Optimization, *Ind. & Eng. Chem. Res.*; 55, 10271–10277.
- Picchio, M. L.; Paredes, A. J. (...) Álvarez Igarzabal, C. I. (2018a). pH-Responsive casein-based films and their applications as functional coatings in solid dosage formulations, *Colloids and Surfaces A*, 541, 1–9.
- Picchio, M. L.; Ronco, L. I. (...) Minari, R. J. (2018b). Poly(n-butyl acrylate)-casein nanocomposites as promising candidates for packaging films, *J. Pol. Environ.*, 26(6), 25799–2587.
- Picchio, M. L.; Cuggino, J. C. (...) Calderón, M. (2018c). Crosslinked casein-based micelles as a dually responsive drug delivery system, *Polym. Chem.*, 9:3499–3510. doi: 10.1039/C8PY00600H.

## Síntesis e inmovilización de nanopartículas metálicas en hidrogel/aerogel de celulosa para aplicaciones catalíticas y biocidas

- Devard, A.; Brussino, P. (...) Ulla, M. A. (2019). Cu (5 %)/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> catalytic performance on the phenol wet oxidation with H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>: Influence of the calcination temperature. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7(4), 103–201.
- Marchesini, F. A.; Querini, C. (...) Ramallo-Lopez, J. M. (2008). Nitrate hydrogenation on Pt, In/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: EXAFS and XANES characterization of fresh and used catalysts. *Catalysis Communications*, 10(3), 355–358.
- Olmos, G. V. (2016). Alternativas de disolución de celulosa para la obtención de productos regenerados (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional del Litoral.
- Olmos, G. V.; Taleb, M. C. (...) Maximino, M. G. (2017). Caracterización de esponjas y esferas preparadas a partir de soluciones de celulosa. Artículo presentado en el XII Simposio Argentino de Polímeros, Los Cocos.
- Olmos, G. V.; Taleb, M. C. (...) Maximino, M. G. (2018). Dissolving pulp from eucalyptus sawdust and its application in cellulosic beads and films. Artículo presentado en el 51st ABTCP International Pulp and Paper Congress and X IberoAmerican Congress on Pulp and Paper Research. San Pablo. <http://abtcp2018.org.br/congresso/trabalhos-completos-para-download>
- Taleb, M. C.; Olmos, G. V. (...) Marchesini, F. A. (2019). Catalizadores a base de nanopartículas de cobre soportados sobre esferas de Celulosa para la eliminación catalítica de contaminantes emergentes presentes en agua. Actas del XXXII Congreso Argentino de Química. Organizado por la Asociación Química Argentina (AQA). CABA.
- Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M. (...) Marchesini, F. A. (2018a). Nitrate reduction of brines from water desalination plants employing a low metallic charge Pd, In *Catalyst and Formic Acid as Reducing Agent*. *Catalysis Letters*, 148(8), 2572–2584.
- Zoppas, F. M.; Bernardes, A. M. (...) Marchesini, F. A. (2018b). Improving selectivity to dinitrogen using Palladium-Indium coated on activated carbon fibers: Preparation, characterization and application in water-phase nitrate reduction using formic acid as an alternative reductant source. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 6(4), 4764–4772.

## Empleo de biomateriales fibrosos de la región para el desarrollo de estructuras catalíticas aplicables al tratamiento de efluentes gaseosos industriales

- Banus, E. D.; Ulla, M. A. (...) Miro, E. E. (2010). Catalytic ceramic paper for the combustion of diesel soot. *Catalysis Communications*, 12(1), 46–49.
- Cecchini, J. P.; Serra, R. M. (...) Milt, V. G. (2011). Ceramic papers containing Y zeolite for toluene removal. *Microporous and Mesoporous Materials*, 145, 51–58.
- Godoy, M. L.; Banus, E. D. (...) Milt, V. G. (2019). Single and double bed stacked wire mesh cartridges for the catalytic treatment of diesel exhausts. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 7, 1–8.
- Leonardi, S. A.; Zanuttini, M. A. (...) Milt, V. G. (2017). Catalytic paper made from ceramic fibres and natural ulexite. Application to Diesel particulate removal. *Chemical Engineering Journal*, 317, 394–403.
- Milt, V. G.; Querini, C. A. (...) Ulla, M. A. (2003). Abatement of Diesel Exhaust Pollutants. NOx Adsorption on Co, Ba, K/CeO<sub>2</sub> Catalysts. *Journal of Catalysis*, 220, 424–432.
- Stegmayer, M. A.; Milt, V. G. (...) Miro, E. E. Cobalt deposited on micro and nanometric structures of ceria and zirconia applied in diesel soot combustion. *Molecular Catalysis* (en prensa).
- Tuler, F. E.; Banus, E. D. (...) Milt, V. G. (2014). Ceramic papers as flexible structures for the development of novel diesel soot combustion catalysts. *Chemical Engineering Journal*, 246, 287–298.
- Tuler, F. E.; Gaigneaux, E. M. (...) Debecker, D. P. (2015). Catalytic ceramic papers for diesel soot oxidation: A spray method for enhanced performance. *Catalysis Communications*, 72, 116–120.
- Tuler, F. E.; Portela, R. (...) Milt, V. G. (2016). Development of sepiolite/SiC porous catalytic filters for diesel soot abatement. *Microporous and Mesoporous Materials*, 230, 11–19.

## Síntesis de nuevos materiales iónicos sobre la base estructural de líquidos iónicos. Correlación entre la estructura de estos materiales, sus propiedades fisicoquímicas y las tareas específicas para lo que fueron diseñados

- Adam, C. G.; Fortunato, G. G. & Mancini, P. M. E. (2009). Nucleophilic and acid catalyst behavior of a protic ionic liquid in a molecular reaction media. Part 1. *Journal Physical Organic Chemistry*, 22, 460–465. doi: 10.1002/poc.1501
- Adam, C. G.; Bravo, M. V. & Mancini, P. M. E. (2014). Molecular solvent effect on the acidity constant of protic ionic liquids. *Tetrahedron Letters*, 55, 148–150.
- Adam, C. G.; Bravo, M. V. (...) Fortunato, G. G. (2014). Solvatochromic dipolarity micro-sensor behavior in binary solvent systems of the (water + ionic liquid) type. Application of preferential solvation model and linear solvation energy relationships. *Journal Physical Organic Chemistry*, 27, 841–849. doi: 10.1002/poc.3346 Este artículo fue seleccionado para COVER IMAGE en el Issue, 11 (November), 2014.

- Adam, C. G.; Bravo, M. V. & Granados A. M. (2017). Anion influence on aggregation behavior of imidazolium-based ionic liquid in aqueous solutions: effect on diverse chemical processes. *Ind. & Eng. Chem. Res.* 56, 1214–1222. doi: 10.1021/acs.iecr.6b03083
- Adam, C. G. y Fortunato, G. G. (2019). Synthesis and self-assembly properties of new surface active 1-alkylimidazolium ionic liquids in aqueous media. *Journal of Surfactants and Detergents*, 22, 501–513. doi.org/10.1002/jsde.12260
- Bravo, M. V.; Fernandez, J. L. (...) Della Rosa, C. D. (2019). Understanding the role of protic ionic liquids in reactive systems: rational selection of PILs for the design of green synthesis strategies for allylic amines and  $\beta$ -amino esters. *Chem Plus Chem*, 84, 919–926. doi: 10.1002/cplu.201900318
- Martini, M. B. y Adam, C. (2017). Nuevos solventes verdes con propiedades dirigidas. En *Actas del AA2017 del III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Organizado por Universidad Nacional del Litoral y Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental (SACyTA). Santa Fe, Argentina.
- Martini, M. B. y Adam C. G. (2017). Líquidos iónicos diseñados para la catálisis ácida en procesos orgánicos. En *Actas del XXI Simposio Nacional de Química Orgánica. Organizado por Sociedad Argentina de Química Orgánica (SAIQO)*. San Luis. Argentina.
- Martini, M. B.; Della Rosa, C. D. (...) Adam, C. G. (2019). Análisis del comportamiento de materiales iónicos diseñados con características ácido de Bronsted sobre reacciones de esterificación. En *Actas del XXXII Congreso Argentino de Química (AQA)*. Organizado por asociación Química Argentina. Buenos Aires, Argentina.

## Desarrollo de materiales poliméricos y tecnologías sustentables basados en el uso de fuentes renovables regionales

- Busatto, C. A.; Taverna, M. E. (...) Estenoz, D. A. Preparation and characterization of lignin microparticles-in-alginate beads for atrazine-controlled release. *Journal of Polymers and the Environment* (en prensa).
- Taverna, M. E.; Ollearo, R. (...) Frontini, P. (2015). Mechanical evaluation of laminates based on phenol-formaldehyde resins modified with sodium lignosulfonate. *Bioresources*, 10(4), 8325–8338.
- Taverna, M. E.; Tassara, O. (...) & Estenoz, D. (2018a). Effect of kraft lignin from hardwood on the viscoelastic, thermal, mechanical and aging performance of high-pressure laminates. *Waste Biomass Valorization*, 10(3), 585–597.
- Taverna, M. E.; Busatto, C. A. (...) Estenoz, D. A. (2018b). Evaluation of ionic and organosolv lignin microparticles for atrazine-controlled release. *Journal of Hazardous Materials*, 359, 139–147.
- Taverna, M. E.; Felissia, F. (...) y Nicolau, V. V. (2019). Characterization and chemical modification of technical lignins from south-american sources for resol resins. *Journal of Applied Polymer Science*, 136, 47712. doi: 10.1002/app.47712
- Villada, Y.; Gallardo, F. (...) Estenoz, D. A. (2017). Functional characterization on colloidal suspensions containing xanthan gum (XGD) and polyanionic cellulose (PAC) used in drilling fluids for a shale formation. *Applied Clay Science*, 149, 59–66.
- Villada, Y.; Iglesias, C. (...) Estenoz, D. (2018). Cellulose nanofibrils as a replacement for xanthan gum (XGD) in water-based muds (WBMs) to be used in shale formations. *Cellulose*, 25, 7091–7112. doi: 10.1007/s10570-018-2081-z

## Capítulo 3. Gestión del riesgo

### Introducción

*Leticia Rodríguez*<sup>1</sup>

La Real Academia Española define «riesgo» como contingencia o proximidad de daño. Dependiendo del contexto y campo disciplinar, las causales del riesgo pueden ser muy diferentes. Este capítulo sintetiza el abordaje que diferentes grupos de investigación de la Universidad realizan sobre el riesgo químico y el riesgo hídrico a través de diversos enfoques, dos grandes líneas de trabajo que se abordan separadamente para una mejor organización del capítulo.

### Riesgo químico

El riesgo químico es aquel susceptible de ser producido por una exposición no controlada a agentes químicos. Una de las principales características perjudiciales de las sustancias y productos químicos es su toxicidad, definida como el potencial que tiene una sustancia para afectar adversamente la salud de los seres humanos y de otros seres vivos. La afectación puede manifestarse a través de la aparición de lesiones reversibles o irreversibles o poniendo en peligro su vida o causando la muerte, una vez que la sustancia ha ingresado al organismo en concentraciones, dosis y tiempos de exposición característicos de cada una.

La complejidad, el número y la diversidad de los productos químicos producidos por las actividades antropogénicas pueden originar residuos tóxicos persistentes, que, sumados a las aguas residuales domésticas, pueden causar efectos adversos sobre los ecosistemas y sobre la salud humana en forma directa o a través de los alimentos ingeridos, una vez detectada su presencia tanto en el agua, en el suelo como en el aire. A la gran familia de productos de origen antropogénico deben sumarse sustancias de origen natural que constituyen un problema para la salud pública.

Con el fin de proteger la salud de los consumidores, la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización para los Alimentos y la Agricultura de las Naciones Unidas (FAO por su sigla en inglés) revisan y realizan evaluaciones científicas de riesgos a fin de determinar los niveles de exposición segu-

---

1 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET-UNL).

ros. Esos niveles sirven de base a los países para elaborar normas sobre inocuidad de los alimentos de modo de proteger la salud de los consumidores. En particular, la FAO advierte sobre los riesgos asociados a agentes químicos presentes en los alimentos y centra su evaluación en los agentes químicos introducidos intencionalmente, los contaminantes presentes por inadvertencia y las sustancias tóxicas naturales. En esta familia de agentes se incluyen los aditivos alimentarios, los residuos de plaguicidas y de otros productos agroquímicos, los residuos de medicamentos veterinarios, los contaminantes químicos de cualquier origen y las toxinas naturales, tales como las micotoxinas y las ciguatoxinas.

La evaluación de riesgos está sujeta a incertidumbres relacionadas con los datos y con la selección del modelo apropiado. Sin embargo, debe señalarse que la falta de certeza que afecta a esos datos se debe tanto a la cantidad limitada de datos disponible como a la evaluación e interpretación de los datos reales aportados por los estudios epidemiológicos y toxicológicos. Si bien se realizan constantes progresos en materia de toxicología a efectos de la evaluación de riesgos, la información científica no es aún suficiente para garantizar un alto grado de certidumbre.

La detección de la presencia de agentes químicos en el medio ambiente y en alimentos es igualmente importante que el estudio de sus efectos ecotoxicológicos. Esto demanda del continuo desarrollo y mejoras tanto de métodos analíticos utilizados en el laboratorio como de técnicas analíticas empleadas en el campo en ambientes diversos para la detección y cuantificación de sustancias que significan un riesgo químico para el ser humano y los ecosistemas.

Desde hace muchos años, en esta casa de estudios se han consolidado grupos de investigación que estudian la presencia de agentes contaminantes tales como el glifosato y sus metabolitos, el plaguicida más utilizado en el país, en aguas utilizadas para la operación de tambos y en residuos de los alimentos de la dieta del ganado lechero. Asimismo, esos grupos han investigado la presencia de un amplio espectro de plaguicidas en alimentos y de Neonicotinoïdes en productos apícolas.

El arsénico representa una amenaza importante para la salud pública cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas, que o bien son consumidas directamente por la población o son utilizadas como agua de regadío o para la preparación de alimentos. Argentina, junto a países como Bangladesh, Chile, China, India, México y Estados Unidos de América, son países donde la contaminación natural con arsénico pone en riesgo a un gran número de habitantes. Vastas regiones de la provincia de Santa Fe poseen aguas subterráneas con elevadas concentraciones de arsénico, afectando el abastecimiento de agua a la población rural y urbana de muchas localidades, pero también ciertas acti-

vidades productivas que satisfacen su demanda de agua a partir del recurso hídrico subterráneo. Los mismos grupos que han trabajado con residuos de plaguicidas, han investigado la presencia de arsénico en leches y aguas de la provincia, y de arsénico y selenio en alimentos, elementos que constituyen sustancias tóxicas de origen natural.

Actualmente existe un creciente interés por los contaminantes emergentes, ya que son compuestos de distinto origen y naturaleza química, que no son monitoreados regularmente en el medioambiente, pero cuya presencia o sus posibles consecuencias han pasado en gran medida inadvertidas, causando problemas ambientales y de riesgo para la salud. Las principales fuentes de ingreso al ambiente son las aguas residuales de tipo doméstico e industrial, los residuos de las plantas de tratamiento, los efluentes hospitalarios, las actividades agrícolas y ganaderas y los tanques sépticos. Son compuestos de los que aún se conoce relativamente poco en cuanto a su presencia, impacto y tratamiento, en su mayoría son contaminantes no regulados, que demandan investigación creciente para evaluar sus efectos potenciales en la salud humana y de los ecosistemas. En este sentido, las investigaciones llevadas a cabo en la Universidad han tenido como objetivo desarrollar métodos de monitoreo rápidos, simples y económicos de estos y otros contaminantes que permitan realizar una clasificación cualitativa de las muestras analizadas.

No solo la contaminación de las aguas y los alimentos significan riesgos para el ser humano. La contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud, en particular por la mala calidad del aire en ambientes interiores. Esta contaminación incluye la presencia de compuestos tóxicos, partículas, microorganismos aerotransportados y bioaerosoles. Según la OMS, el riesgo de este tipo de contaminación para la salud pública se potencia por la combinación de los elevados tiempos de exposición y la dificultad en la detección temprana de los problemas relacionados a la mala calidad del aire en ambientes confinados. Ante esta problemática, en esta casa de estudios se realizan esfuerzos para estudiar y desarrollar procesos eficientes para la inactivación de microorganismos y descontaminación atmosférica.

Como se expresó más arriba, el riesgo químico afecta igualmente a los ecosistemas y los seres vivos que en ellos habitan. A nivel internacional, el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), y a nivel nacional la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable junto al conjunto de regulaciones aplicables, son organismos encargados de velar por la «salud» de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Los principales problemas que estos enfrentan están asociados a la deforestación y sus consecuencias, a las prácticas agrícolas debido a la utilización de fertilizantes y plaguicidas, al deterioro de los humedales, y a las actividades industriales, entre otros.



Una forma para estudiar «la salud» de los ecosistemas es a través de indicadores, cuya aplicación se ha difundido en los últimos años. Los indicadores constituyen «una medida cuantitativa o cualitativa usada para demostrar cambios y simplificar información de la realidad, que puede servir para entender y valorar fenómenos complejos», aplicados al medio ambiente. Además de indicadores, el empleo de índices integradores puede ser una herramienta de apoyo para el diagnóstico ambiental de sistemas acuáticos, tema en el cual se investiga en las unidades académicas de la institución.

¿Compartimos la vida con los plaguicidas?

*María R. Repetti,<sup>2</sup> Nicolás Michlig,<sup>2</sup> Luisina D. Demonte,<sup>2</sup>*

*Melina P. Michlig<sup>2</sup> y Horacio R. Beldoménico<sup>2</sup>*

Los plaguicidas presentan toxicidad no solo para la plaga que combaten sino también, en distintos grados, impactan con efectos negativos a la naturaleza y al hombre. Esta controversia suscita tensiones entre la producción y la sociedad, conduciendo a la necesidad de adoptar prácticas productivas más sustentables, menos agresivas con el ambiente y la salud de las poblaciones. También moviliza la implementación de legislaciones y acciones para mantener los riesgos bajo control. La preocupación que este escenario ha motivado en la ciencia de nuestro país y nuestra región, se manifiesta en los múltiples estudios, recomendaciones y acciones encaminadas a brindar mejoras y soluciones a todo nivel. Aquí seleccionamos algunos casos de estudio desarrollados en nuestro centro, que ejemplifican sobre la ocurrencia de residuos de plaguicidas en ambientes y alimentos producidos en la provincia de Santa Fe.

Residuos de plaguicidas en alimentos y ambientes

*Glifosato en aguas de tambo:* se desarrolló un método analítico para la determinación de glifosato, AMPA y glufosinato, que introdujo mejoras respecto a los métodos existentes. El nuevo método está basado en derivatización (FMOC-cl) y en cromatografía líquida de ultra alta presión, acoplado a espectrometría de masa/masa (UHPLC-MS/MS). Se estudiaron aguas de pozo de 40 tambos de los Departamentos Castellanos y Las Colonias de la provincia de Santa Fe. Se detectó glifosato y AMPA en 15 % y 53 % del total de muestras extraídas

---

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Química, UNL.

de los grifos, con concentraciones que variaron entre 0,6–11,3  $\mu\text{g L}^{-1}$  y 0,2–6,5  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Otras muestras de los reservorios abiertos que estuvieron expuestas al ambiente exterior del establecimiento agrícola, mostraron niveles de glifosato y AMPA en 33 % y 61 % de los casos analizados, con valores entre 0,6–21,2  $\mu\text{g L}^{-1}$  y 0,2–4,2  $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente. Estos hallazgos son indicativos del impacto de la práctica agrícola con el estado y conservación del recurso acuífero subterráneo (Demonte *et al.*, 2018). Este estudio y otros de nuestro centro aportan más evidencias sobre el estatus de verdadera ubicuidad alcanzado por el glifosato en regiones productivas del país.

*Neonicotinoides en productos de apicultura:* Evaluaciones realizadas con plantas de girasol por nuestro centro y otros estudios han demostrado que los insecticidas neonicotinoides se translocan al néctar y al polen de las plantas desde semillas tratadas, lo que representa un riesgo potencial para los polinizadores. Esto ha originado severas restricciones a su uso en varios países, aunque no en Argentina, que los tiene autorizados para numerosos cultivos. Para evaluar efectos en la colmena se realizó un estudio de exposición controlada de este plaguicida a campo abierto. Para ello se instaló un apiario conformado por 30 colmenas de *Apis mellifera* L. en la localidad de Rafaela (Santa Fe). Los análisis de los distintos tipos de muestras (abejas, larvas, miel, cera de abejas) se efectuaron por UHPLC–MS/MS. Los niveles encontrados en abejas variaron en los rangos <0,5–1,6  $\mu\text{g kg}^{-1}$  y 1,4–28,9  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para los tratamientos de exposición más baja y más alta, respectivamente. Las larvas no mostraron presencia significativa del contaminante revelando no haber sido expuestas. Muy llamativamente también, la miel almacenó aproximadamente el 60 % del imidacloprid cargado a través de la alimentación con jarabe (Michlig *et al.*, 2018).

*Estudio de amplio espectro de plaguicidas en alimentos:* se efectuaron rastreos de amplio espectro sobre residuos y contaminantes en alimentos de gran interés. Un conjunto superior a 400 compuestos, mayoritariamente plaguicidas con la inclusión de 54 micotoxinas y 11 alcaloides de pirrolizidina, fueron determinados según las matrices, mediante sistemas de cromatografía–espectrometría de masa de alta resolución (HPLC–Q–Orbitrap), UHPLC–MS/MS y GC–MS/MS. Se estudiaron muestras comerciales de alimentos infantiles de base cereal, comercializados en Argentina, principalmente conteniendo avena, arroz, trigo, maíz. Los hallazgos mostraron la presencia simultánea de 1 a 6 residuos de plaguicidas en todas las muestras analizadas, en concentraciones que variaron en el rango LOQ - 80  $\mu\text{g kg}^{-1}$ . Los plaguicidas más frecuentemente detectados fueron clorpirifós y pirimifós metilo, insecticidas muy utilizados en el país (Repetti *et al.*, 2019).

También se estudiaron residuos en alimentos de la dieta del ganado lechero, que son determinantes para la calidad de la leche. Previamente nuestros estudios habían evidenciado la presencia de aflatoxina M1 en el 40 % de 160 muestras de leche cruda y residuos de plaguicidas (diazinón, clorpirifos,  $\lambda$ -cialotrina y otros). En los numerosos y variados alimentos que constituyen las dietas concentradas utilizadas en la cuenca lechera santafesina (pasturas, maíz, trigo, soja, ensilajes, expellers, semillas de algodón, gluten, burlanda, balanceados comerciales y otros), se detectaron plaguicidas en el 72 % de las 54 muestras analizadas siendo el 62 % de los mismos insecticidas, el 20 % herbicidas y el 18 % fungicidas. De esas familias, de mayor ocurrencia fueron clorpirifós (98 %, 11–167  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ), metolaclo (60 %, 5–15  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) y difenilamina (33 %, 20–63  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ). Se verificó la existencia simultánea de múltiples plaguicidas. Estudios de amplio alcance no se informaron previamente en alimentos concentrados de Argentina (Michlig *et al.*, 2017).

#### Conclusiones y recomendaciones

Estos estudios y otros efectuados por el grupo de investigación y otros colaboradores, evidencian que los alimentos que consumimos en nuestro país están expuestos a la presencia de plaguicidas, en variables niveles de concentración, en muchos casos con presencias múltiples, y en otros como el glifosato con características ubicuas. Esto constituye un problema de inocuidad de los alimentos que amerita un tratamiento prioritario, con mayor énfasis y compromiso por parte de los organismos que velan por la salud pública, la producción, los entes administrativos y legislativos a todo nivel. La meta deseable de asegurar a la población alimentos libres de residuos y contaminantes debe ser propuesta, desarrollada y alcanzada por los organismos responsables del Estado, los actores sociales y una población más consciente, recurriendo a todas las estrategias disponibles en la actualidad, que proponen formas eficientes de control y prevención de los efectos de los sistemas productivos actuales, haciéndolos más sustentables, como así también enfatizando la promoción de sistemas productivos alternativos que eviten o minimicen el uso de plaguicidas.

¿Se puede disminuir el riesgo de exposición dietaria a plaguicidas?

Darío A. Maggioni<sup>3</sup> y María R. Repetti<sup>3</sup>

Remoción de plaguicidas por el procesamiento doméstico de alimentos

Se estudió el efecto que producen prácticas domésticas como el lavado y el pelado respecto al contenido de residuos de plaguicidas de frutas y verduras. Para ello se sometieron muestras de tomates y manzanas comercializadas en los mercados de Santa Fe. El análisis multi-residuo previo permitió detectar la presencia de 6 plaguicidas en los tomates y otros 6 plaguicidas en las manzanas. Estas muestras conteniendo residuos en las condiciones de consumo de la población, fueron utilizadas para evaluar el efecto de distintos procesamientos: lavado con agua de canilla, lavado con soluciones al 2 % y 5 % de ácido acético (ácidas) y bicarbonato de sodio (alcalinas), así como el pelado (remoción completa de la piel). Los niveles de concentración de los plaguicidas se determinaron mediante cromatografía líquida-espectrometría de masa (UHPLC-MS/MS). Se calcularon los factores de procesamiento (PF) como la relación existente entre la concentración hallada después y antes del procesamiento. En ambos casos el pelado fue mucho más efectivo que los lavados. En tomates se obtuvo PFs 0,03; ≤ 0,23; 0,02; 0,26; 0,35; 0,09 para remover azoxystrobin, carbendazim, difenoconazole, flubendiamide, imidacloprid y pyraclostrobin, respectivamente. En manzanas, valores de PF ≤ 0,12; 0,08; 0,01; 0,04; 0,05; 0,09 para carbarilo, carbendazim, clorantraniliprole, clorpirifós, imazalil y tiabendazol, respectivamente. El lavado de los alimentos con agua mostró baja eficacia en la remoción de los electrolitos de comportamiento variable. Estos resultados son útiles para orientar prácticas domiciliarias más idóneas y para brindar datos necesarios para la evaluación de riesgos dietarios poblacionales (La Barba *et al.*, 2017).

Evaluación de riesgo dietario para residuos de plaguicidas

En razón de las evidencias de la existencia de residuos de plaguicidas en los alimentos, cobra gran relevancia el uso de herramientas que permitan orientar y concretar la prevención de los impactos negativos que pueden producir sobre la salud humana y el ambiente. Una de las estrategias más utilizadas para este propósito a nivel internacional es la aplicación del análisis de riesgo,

---

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería Química, UNL.

principio compuesto por tres grandes etapas: Evaluación de riesgo (basada en ciencia), gestión de riesgo (basada en política) y comunicación de riesgo. Por este motivo se decidió realizar una evaluación de riesgo dietario crónico para residuos de plaguicidas en cuatro grupos etarios de la población argentina siguiendo el procedimiento recomendado por la OMS. La Ingesta Diaria Teórica Máxima Nacional (IDTMN) para 308 plaguicidas fue calculada por primera vez en nuestro país utilizando los Límites Máximos de Residuos (LMR) de varias normativas argentinas y los datos de consumo de alimentos de la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud (ENNYS). El riesgo se estimó comparando la IDTMN con la Ingesta Diaria Admisible (IDA) para cada plaguicida. Además, para cada uno de los compuestos con una IDTMN >65 % de la IDA, se realizó un análisis probabilístico para cuantificar la probabilidad de superar la IDA. En este estudio se estimó que 27, 22, 10 y 6 ingredientes activos superaban el 100 % de la IDA para los diferentes grupos de la población evaluados: niños de 6 a 23 meses, niños de 2 a 5 años, mujeres embarazadas y mujeres de 10 a 49 años de edad, respectivamente. Algunos de los compuestos bajo estudio (carbofuran, diazinón, diclorvos, dimetoato, oxidemetón–metil y bromuro de metilo) superaron la IDA en los cuatro grupos etarios incluidos en este trabajo. Leche, manzana, papa y tomate fueron los alimentos que más contribuyeron a la ingesta de estos plaguicidas (Maggioni *et al.*, 2017).

En una segunda etapa del trabajo, se realizó una evaluación de la exposición dietaria aguda a los residuos de plaguicidas. En este caso también se aplicaron métodos determinísticos y estocásticos para un grupo seleccionado de plaguicidas en dos grupos etarios representativos de Argentina. Así, se evaluaron 28 ingredientes activos (i.a.) y 75 alimentos para el grupo de niños de 2 a 5 años, mientras que para el grupo de mujeres de 10 a 49 años se consideraron 9 i.a. y 59 alimentos. La evaluación determinista se realizó siguiendo el procedimiento recomendado por FAO/OMS, pero utilizando los Límites Máximos de Residuos (LMR) nacionales como dato de concentración de residuos de plaguicidas. En el enfoque estocástico, sin embargo, se utilizó una distribución teórica modelada con la información disponible. Los datos de consumo de alimentos se obtuvieron de la ENNYS. El riesgo se estimó comparando la exposición dietaria a corto plazo con los valores de la dosis de referencia aguda (ARfD) para cada combinación plaguicida/alimento evaluada. En la evaluación determinista, 173 combinaciones (39,1 %) y 40 combinaciones (31,3 %) superaron la ARfD para los grupos de niños de 2 a 5 años y de mujeres de 10 a 49 años de edad, respectivamente (Maggioni *et al.*, 2018).

## Conclusiones y recomendaciones

Al mismo tiempo que se promueve y consolida el desarrollo de modelos productivos más sustentables, es posible adoptar prácticas domésticas que disminuyen la exposición dietaria a ciertos residuos de plaguicidas, por ejemplo, el pelado de frutas como lo muestran estos resultados. También es necesario el desarrollo e implementación de sistemas nacionales de control de los residuos de plaguicidas basados en un enfoque preventivo como los que promueve el análisis del riesgo. Los mismos podrían contribuir a prevenir situaciones de exposición que pudieran representar un riesgo para la salud de la población y la integridad del medio ambiente.

## Arsénico y selenio en alimentos y aguas de la provincia de Santa Fe

*Mirna Sigrist,<sup>4</sup> Jonatan Schlotthauer<sup>4</sup> y Lucila Brusa<sup>4</sup>*

El territorio de la provincia de Santa Fe se caracteriza por ser una planicie con suelos de elevada fertilidad, que propicia su gran desarrollo agropecuario. La formación geológica del subsuelo está comprendida en parte por la llanura Chaco-pampeana, cuyas aguas subterráneas corresponden a acuíferos principalmente formados por arcillas cuaternarias y depósitos sedimentarios carbonatados, que a menudo provocan serios problemas de calidad debido a las altas concentraciones de elementos tales como AS, F, B, MO, SE, U y su alta salinidad. Estas características geológicas influyen en la composición mineral y elemental de suelos y aguas subterráneas, los cultivos y la producción de alimentos. Dentro del complejo universo de los elementos de interés en este escenario, se ha prestado atención al AS debido a las implicancias tóxicas que tienen algunas de sus especies químicas en la salubridad de aguas y la inocuidad de los alimentos; y al SE que es un nutriente esencial importante para la vida humana, animal y vegetal, que enriquece los suelos, presentando a su vez un rango de homeostasis muy estrecho, que a determinados niveles presenta toxicidad crónica y aguda característicos.

---

<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería Química, UNL.

## Arsénico en leches y aguas de Santa Fe

Uno de los primeros temas de interés del grupo de trabajo fue la evaluación de la influencia del arsénico natural de las aguas subterráneas utilizadas para bebida del ganado, sobre el contenido de As de la leche cruda producida en la cuenca lechera santafesina. Así se determinó el As total en el agua suministrada al ganado y en la leche producida en 12 tambos del centro de la provincia de Santa Fe, sumando 36 muestras de leche cruda. Se contribuyó con un método analítico de mineralización por vía seca para las muestras de leche y la determinación mediante espectrometría de absorción atómica de generación de hidruro por inyección de flujo (FI-HGAAS). Los niveles medidos en el agua variaron en el rango de 29,8 a 307,6  $\mu\text{g L}^{-1}$ . Las concentraciones bajas de arsénico medidas en leche ( $<2,2 \mu\text{g L}^{-1}$  en todos los casos) evidenciaron una baja transferencia biológica de arsénico a la leche de vaca. La ingesta de aguas con hasta 300  $\mu\text{g L}^{-1}$  mostraron baja incidencia respecto a riesgos toxicológicos y la calidad respecto a este contaminante, en la producción láctea de la región (Sigrist *et al.*, 2010).

Otro estudio se focalizó en evaluar la distribución de especies de arsénico inorgánico en las aguas subterráneas utilizadas como fuente de agua potable para las poblaciones rurales y urbanas de la región centro occidental de la provincia de Santa Fe. Para ello se desarrolló un método simplificado basado en la determinación del As inorgánico total (i-As) mediante un sistema en línea de FI-HGAAS. Los resultados de 59 muestras recolectadas de 27 localidades provinciales, mostraron un predominio casi exclusivo de las formas pentavalentes, en acuerdo con los conocimientos existentes sobre la constitución geológica de los estratos subterráneos que alojan los acuíferos de la región (Sigrist *et al.*, 2015).

## Arsénico y selenio en alimentos

En vista de la existencia de fuentes de arsénico importantes en nuestro país, y del poco conocimiento existente sobre la contribución de los alimentos de nuestra dieta a la ingesta dietaria de i-As, se estudió su composición en un conjunto variado de alimentos disponibles comercialmente en la ciudad de Santa Fe (carne de res, pollo, pescado, leche, queso, huevo, arroz, productos a base de arroz, harina de trigo, harina de maíz, avena, cereales para el desayuno, legumbres y papas). Se determinó As total mediante un método optimizado de FI-HGAAS. Las mayores concentraciones de arsénico total (en  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) se encontraron en pescado (152–439), arroz (87–316) y productos a base

de arroz (52–201). Los principales contribuyentes a la ingesta de i-As fueron la harina de trigo, incluida su proporción en productos a base de harina de trigo (panes, pastas y galletas), seguidos de arroz. Ambos alimentos representan cerca del 53 % y el 17 % de la ingesta, respectivamente. La ingesta dietaria de i-As, estimada en 10,7  $\mu\text{g}$  por día, fue significativamente menor que la ingesta estimada por el consumo de agua potable en vastas regiones de Argentina (Sigrist *et al.*, 2016).

Atendiendo los resultados observados surge la importancia que adquiere el estricto control de las especies inorgánicas de As (i-As) en los alimentos sobre todo de origen cereal. El arroz es de particular interés ya que han aparecido legislaciones recientes que establecen límites de concentración permitidos para estas especies. Para este fin se desarrolló un método selectivo basado en FI-HGAAS. El análisis de 86 muestras de arroz mostró una marcada acumulación de ácido dimetilarlésico (DMA), manteniendo niveles relativamente bajos de iAs (menores a 282,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para arroz paddy y 119,6  $\mu\text{g kg}^{-1}$  para arroz pulido), para concentraciones de As total variando entre 63,3  $\mu\text{g kg}^{-1}$  y 932,4  $\mu\text{g kg}^{-1}$  (Brusa *et al.*, 2019).

Por otro lado, la composición de los alimentos argentinos respecto a su contenido en selenio es muy poco conocida. Para aportar mayor información sobre este tema y evaluar la contribución de los alimentos consumidos en nuestro país a la ingesta dietaria de selenio total, se estudió su contenido en alimentos seleccionados de alto consumo. Se incluyeron en el estudio muestras de pescado, carne de res, pollo, leche, arroz, harina de trigo y huevo. Se aplicó un método FI-HGAAS que, a través de varios pasos de optimización, fue satisfactorio para todas las matrices. Los valores más altos correspondieron a las muestras de carne y huevos (en  $\mu\text{g kg}^{-1}$ ): carne de res: 42–153; pollo: 62–205; pescado: 94–314; atún enlatado: 272–282; huevos: 134–217. Valores menores se encontraron para harina de trigo (22–42), arroz (<22), pasta (47–64) y leche (<7-9). Una ingesta estimada de 32 y 24  $\mu\text{g día}^{-1}$  para hombres y mujeres adultos, respectivamente, evidenció que resulta deficiente de se, lo que conduce a realizar estudios más exhaustivos sobre la ocurrencia de se en Argentina, sobre la composición de la dieta y la necesidad de efectuar acciones de prevención (Sigrist *et al.*, 2012).

## Conclusiones

Este conjunto de estudios contribuye a la caracterización de la contaminación por arsénico de aguas subterráneas de la provincia de Santa Fe y de un conjunto de alimentos importantes en la dieta argentina. Los trabajos de espe-



ciación comprobaron el estado mayoritario de las formas oxidadas (AsV) en las aguas estudiadas y se pudo evaluar que los alimentos con mayor aporte a la ingesta de i-As son el arroz y los productos a base de trigo. Respecto al estado de la ingesta de selenio total en las dietas argentinas el estudio evaluó que la misma se encuentra por debajo de la ingesta recomendada. Frente a la complejidad analítica en este campo, se han podido producir métodos de adecuado desempeño para la determinación de los elementos en estudio y sus especies inorgánicas, empleando distintas variantes de preparación de muestras y determinación por HG-FIAAS.

#### Desarrollo de metodologías electrobioanalíticas para la determinación de contaminantes ambientales

*Silvia N. Fabiano*<sup>5</sup> y *Silvia R. Hernández*<sup>5</sup>

La complejidad, el número y la diversidad de los productos químicos orgánicos producidos por las actividades antropogénicas pueden originar residuos tóxicos persistentes en el ambiente. En consecuencia, la capacidad de monitorear contaminantes simultáneamente en matrices ambientales es fundamental para evaluar y caracterizar sitios de alto riesgo que puedan alterar la salud humana y los ecosistemas. Los entes oficiales frecuentemente fomentan el desarrollo de tecnologías que permitan plantear estrategias eficaces de saneamiento ambiental. En respuesta a esta realidad, se han realizado mejoras tanto en métodos analíticos utilizados en el laboratorio como en técnicas analíticas empleadas en campo donde el muestreo y el análisis se llevan a cabo en la zona de riesgo.

La nueva tendencia en el desarrollo de las metodologías bioanalíticas se basa en aprovechar al máximo la capacidad de poder ser miniaturizados hasta dimensiones celulares; esto les da versatilidad en la forma en que pueden trabajar (in-line, on-line, at-line etc.), dando una respuesta en tiempo real con un empleo mínimo de reactivos (generalmente medio acuoso) y en ciertas circunstancias sin la necesidad de ellos. En este caso son considerados como micro laboratorios analíticos. La instrumentación necesaria para el funcionamiento de los mismos es de bajo costo en comparación con instrumentos tradicionales. Todas estas características los transforman en dispositivos analíticos de elección una vez que el funcionamiento de los mismos ha sido validado.

---

<sup>5</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

Los aportes de nuestro grupo a estas problemáticas y desafíos se basan en las técnicas electroanalíticas para la detección de señales obtenidas que se relacionan con la concentración de un analito o grupo de analitos de interés. La experiencia del grupo se basa en el desarrollo de biosensores de transducción electroquímica. Se utilizaron diferentes tipos de electrodos (composite y biocomposites rígidos basados en resinas grafito-epoxi, carbón vítreo, platino, electrodos impresos, pasta de carbono) como transductores; y elementos de reconocimiento molecular tales como enzimas, ADN y anticuerpos. Las diferentes combinaciones del elemento de reconocimiento molecular inmovilizados en el transductor son la base para la implementación de diferentes esquemas de biosensores. Entre los dispositivos desarrollados los citados a continuación.

### Genosensores

Algunos aditivos alimentarios como los colorantes y edulcorantes podrían tener efectos genotóxicos (mutagénicos o cancerígenos). Los biosensores electroquímicos a base de ADN están constituidos por un sensor electroquímico o transductor sobre el cual se ha inmovilizado una secuencia de ADN de doble cadena. Una gran variedad de moléculas de bajo peso molecular podría interactuar con el ADN inmovilizado por medio de interacciones de tipo electrostáticas o hidrofóbicas pudiéndose intercalar entre los pares de las bases nitrogenadas, y provocando alteraciones redox o conformacionales en la molécula del ADN. Estos biosensores electroquímicos basan sus respuestas en las propiedades redox de la guanina y adenina; la señal analítica que suministran se observa alterada en una matriz que contiene un agente genotóxico respecto de una matriz que no lo contiene.

### Biosensores enzimáticos

Los biosensores basados en la inmovilización de la enzima tirosinasa (polifenol oxidasa) sobre transductores a base de carbono o metales, son capaces de convertir un sustrato (derivados fenólicos provenientes de efluentes industriales o aguas contaminadas) en productos quinónicos a bajos potenciales. Además de emplear los electrodos enzimáticos en la cuantificación de un sustrato, se los puede utilizar para la determinación de otros tóxicos (por medio de la perturbación o modulación de la actividad enzimática), por ejemplo,

la inhibición de las enzimas tales como la colinesterasa, tirosinasa o peroxidasa y permiten desarrollar biosensores útiles para la cuantificación tanto de sustancias neurotóxicas (pesticidas organofosforados y carbamatos), como de cianuro y metales pesados.

#### Técnicas electro analíticas

Se aplicaron técnicas tales como potenciometría, amperometría y voltamperometría para la determinación de fármacos de tipo antiinflamatorio, analgésico y antipirético como dipirona y paracetamol; en combinación con técnicas quimiométricas multivariadas para determinación simultánea de analitos.

#### Conclusiones y recomendaciones

Uno de los conceptos más atractivos en química para lograr la sustentabilidad es la Química verde, cuyo objetivo es la utilización de un grupo de principios que reducen o eliminan el uso o generación de sustancias peligrosas en el diseño, manufactura y aplicaciones de productos químicos. En muchos casos el cumplimiento de ese objetivo implica el rediseño de los productos y procesos utilizados. Existen doce principios que marcan el desarrollo de la Química verde, sobre los cuales ha habido numerosos adelantos, pero aún quedan retos por resolver. Para fomentar este concepto, uno de los más atractivos en química, que implica el uso de metodologías basadas en medios acuosos, que insuman el menor consumo energético y de reactivos, y que generen productos de desechos con toxicidad reducida o preferencialmente biodegradables se propone a futuro seguir esta tendencia de la Química Analítica orientándose en la generación de dispositivos microfluidicos. Estos dispositivos de funciones integradas, pueden clasificarse de acuerdo con sus dimensiones, en nano o micro dispositivos (donde alguno de sus componentes internos, deben tener dimensiones en dichas escalas, nanómetro o micrómetro), y suelen denominarse Sistemas Analíticos Totales (TAS, sigla en inglés, Total Analysis System) o lab-on-a-chip, ya que en su interior se lleva a cabo un ensayo completo, donde la muestra ingresa al sistema, se acondiciona para lograr la recuperación y detección del analito, y finalmente se arroja un resultado del mismo.

## Contaminantes emergentes: métodos de *screening* para su detección y monitoreo

*Silvina V. Kergaravat*<sup>6</sup>

Los contaminantes emergentes son compuestos químicos o naturales que no son monitoreados en el ambiente y que pueden causar efectos adversos sobre la salud humana y los ecosistemas. Las principales fuentes de ingreso al ambiente son las aguas residuales de tipo doméstico e industrial, los residuos de las plantas de tratamiento, los efluentes hospitalarios, las actividades agrícolas y ganaderas y los tanques sépticos (Santos *et al.*, 2010). Los productos farmacéuticos son uno de los contaminantes emergentes más importantes debido a su amplio y masivo consumo por parte de la población en general. Por otro lado, los pesticidas si bien se han estudiado por décadas, presentan metabolitos y productos de degradación que han sido en su mayor parte ignorados hasta la fecha y se ha visto que pueden ser más tóxicos que los compuestos a partir de los cuales se generan (Sinclair y Boxall, 2003). Para poder llevar adelante procedimientos de relevamiento y monitoreo de contaminantes se requiere de métodos de *screening* rápidos, simples y económicos que permitan realizar una clasificación cualitativa de las muestras analizadas.

### Impacto regional de los contaminantes emergentes

La región centro norte de Santa Fe tiene una alta actividad agrícola-ganadera, sin embargo, se tiene poco conocimiento sobre la detección de productos farmacéuticos y derivados de la actividad agropecuaria. A nivel nacional solo 1,5 % de estudios sobre detección de contaminantes emergentes han sido publicados según un relevamiento mundial llevado adelante por Sousa *et al.* (2018).

El Laboratorio de Sensores y Biosensores LSB (FBCB-UNL) ha desarrollado numerosos métodos analíticos de *screening* con la finalidad de detectar en forma rápida y simple la presencia de fármacos, pesticidas y compuestos fenólicos en muestras ambientales.

---

<sup>6</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

## Fármacos

Las quinolonas son una familia de antibióticos muy utilizada en medicina humana y veterinaria; y son frecuentemente encontradas en muestras ambientales (Mahdi–Ahmed y Chiron, 2014), sin embargo, no existen límites máximos permitidos para este tipo de muestras. Para su detección se desarrollaron diferentes métodos analíticos de screening con sus correspondientes límites de corte (CC $\alpha$ ): 1) Método fluorimétrico en placas de microtitulación (CC $\alpha$ : 6,8  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) para la detección de quinolonas en muestras de agua subterránea de zonas rurales cercanas a las localidades de Esperanza, San Jorge, Avellaneda y Santa Fe. Se encontraron valores comprendidos entre 8 y 13  $\mu\text{g L}^{-1}$  de quinolonas cuyos resultados fueron corroborados con un método de referencia (Kergaravat *et al.*, 2018a); 2) Método electroquímico basado en voltametría de redisolución anódica (CC $\alpha$ : 0,5 ng  $\text{L}^{-1}$ ) para el monitoreo de moxifloxacina en estudios de ecotoxicidad con cladóceros, propuesto como método de monitoreo en ambientes acuáticos (Kergaravat *et al.*, 2018b); 3) Método basado en un ensayo magneto competitivo indirecto inmunofluorescente (CC $\alpha$ : 4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) en placas de microtitulación para detectar quinolonas en leches crudas y aguas subterráneas (Kergaravat *et al.*, 2017).

## Pesticidas

Los herbicidas son ampliamente utilizados en nuestra zona para los cultivos de soja, maíz y barbecho químico (entre cosechas). El más utilizado en Argentina es el glifosato representando el 62 % del total de los pesticidas comerciales. La Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2003) propuso niveles guías para glifosato de 300 y 240  $\mu\text{g L}^{-1}$  para fuentes de agua de consumo humano y protección de la biota acuática, respectivamente. Para su detección se desarrollaron métodos de screening basados en la inhibición de la actividad enzimática de la peroxidasa de rábano picante (PRP) mediante detección espectrofotométrica (CC $\alpha$ : 2 mg  $\text{L}^{-1}$ ), espectrofluorimétrica (CC $\alpha$ : 4  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) y electroquímica (CC $\alpha$  = 0,115  $\mu\text{g L}^{-1}$ ). Los métodos se aplicaron a la detección de glifosato en formulaciones comerciales y en muestras de agua superficial y subterránea (Ibarra Bouzada *et al.*, 2017). El bentazon es otro herbicida pos-emergente para control de malezas en cultivos de verano e invierno. La Organización Mundial de la Salud (2004) cita el valor de 30 ppb como concentración máxima admitida para bentazon en agua potable. Para su detección en formulaciones comerciales y muestras de agua superficial se utilizó un método de screening fluorescente (CC $\alpha$  = 103  $\mu\text{g L}^{-1}$ ) (Schmuck, 2019).

## Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se utilizan en la producción de fármacos, detergentes sintéticos, fragancias, pesticidas, papel, colorantes, etc. y de esta manera pueden llegar sus residuos al ambiente. Su detección se pudo realizar mediante un método de inhibición enzimático de PRP acoplado a calibración multivariada donde cinco compuestos se determinaron simultáneamente en aguas residuales de curtiembres y relleno sanitario (Hernández *et al.*, 2013).

## Conclusiones y recomendaciones

La carencia de monitoreos y relevamientos de los diferentes contaminantes emergentes contribuye al desconocimiento de la situación actual de nuestros ambientes. Además, para muchos de estos compuestos, entre ellos las quinolonas, faltan regulaciones concisas relacionadas al riesgo ecológico tanto en nuestra región como a nivel global. En la actualidad, numerosos métodos de screening han sido desarrollados y aplicados en matrices ambientales demostrando la existencia de herramientas analíticas útiles para su implementación en planes de relevamiento y monitoreo de diferentes contaminantes en nuestra región con alto impacto agrícola-ganadero.

## Control de la contaminación química y biológica del aire en ambientes confinados

*Marina Flores,*<sup>7</sup> *Claudio Passalía,*<sup>8</sup> *Mariana Cristiani,*<sup>9</sup>  
*Marisol Labas*<sup>10</sup> y *Rodolfo Brandi*<sup>10</sup>

La contaminación del aire representa un importante riesgo para la salud humana, en particular por la mala calidad de aire en ambientes interiores. Esto incluye no solo la presencia de compuestos tóxicos, sino también de partículas y microorganismos aerotransportados, bioaerosoles. Este tipo de contaminación representa un gran riesgo para la salud pública debido principalmente a la confluencia de dos factores: i) los elevados tiempos de exposición, y ii) la dificultad en la detección temprana de los problemas relacionados a

---

7 Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), (CONICET-UNL).

8 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

9 Becaria CONICET-UNL.

10 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC), (CONICET-UNL).

la mala calidad de aire en ambientes confinados (Organización Mundial de la Salud, 2016). La estabilidad ambiental de los espacios confinados, permite asimismo a los bioaerosoles seguir siendo viables durante un tiempo prolongado, lo que se torna un riesgo creciente principalmente en ambientes hospitalarios. Los riesgos relacionados a los bioaerosoles pueden ir desde reacciones alérgicas hasta enfermedades infecciosas (por ejemplo, legionelosis, tuberculosis y ántrax).

En Argentina, las infecciones respiratorias agudas (IRAS) causadas por la contaminación atmosférica, constituyen una importante causa de morbimortalidad, fundamentalmente entre los niños menores de cinco años y las personas de mayores de 65 años (Ministerio de Salud de la Nación, 2017). En la provincia de Santa Fe, las enfermedades del sistema respiratorio que incluyen enfermedades agudas y crónicas del sistema respiratorio, se encuentran entre las cinco primeras causas de muerte.

La situación descrita pone en evidencia la necesidad de dirigir esfuerzos tendientes al conocimiento de la naturaleza del fenómeno, así como al continuo desarrollo de tecnologías para su control y disminución. En la búsqueda de superar o mitigar algunos de estos problemas es que se han ido desarrollando tecnologías de descontaminación y desinfección con el objetivo de minimizar o inactivar, dependiendo de su origen, los contaminantes atmosféricos. Entre estas tecnologías, los Procesos Avanzados de Oxidación (PAO's) aparecen como una alternativa de particular interés, dado que tienen el potencial de la completa mineralización de un gran rango y tipo de compuestos contaminantes químicos, generando sustancias inocuas o logrando la inactivación de los contaminantes biológicos aerotransportados. Dentro de las tecnologías amigables con el ambiente se encuentran las que inactivan microorganismos, donde el proceso más utilizado, sumamente efectivo, es la radiación UV germicida (UVGI) y la fotocatalisis heterogénea u oxidación fotocatalítica (PCO), que no solo inactiva microorganismos sino también destruye contaminantes químicos presentes en el ambiente. La PCO se basa en la presencia de un catalizador, principalmente dióxido de titanio que absorbe radiación UV por debajo de 385 nm, generando especies oxidantes sumamente reactivas.

En este marco, una línea de trabajo dentro del Grupo de Tecnologías Ambientales y Fotorreactores es el estudio y desarrollo de procesos eficientes para la inactivación de microorganismos y descontaminación atmosférica a fin de que puedan ser utilizados en futuras aplicaciones en combinación con sistemas de ventilación y/o purificación de aire en ambientes interiores. Entre los resultados más importantes de esta línea podemos mencionar la optimización de reactores para la remoción de compuestos orgánicos volátiles típicos de interiores (formaldehído, diclorometano) (Passalia *et al.*, 2011), y el diseño

de un reactor para desinfección de aire en ductos, probado satisfactoriamente con *Escherichiacoli* y *Pseudomonas aeruginosa* (Martínez Retamar *et al.*, 2018).

## Conclusiones y recomendaciones

La línea de trabajo comprende el desarrollo integral de dispositivos de oxidación novedosos y amigables al ambiente y el diseño, modelado y construcción de dispositivos de descontaminación aérea utilizando la fotocatalisis heterogénea solar. El modelado computacional y las simulaciones de estos dispositivos constituyen un pilar en esta línea de trabajo. Actualmente estos dispositivos se encuentran en escala laboratorio para su posterior pase a escala real.

Este resumen de situación tiene como objetivo informar a los tomadores de decisiones para diseñar, reorientar o fortalecer estrategias que permitan mejorar la salud respiratoria de la población ya que muchas de estas amenazas se pueden evitar. Además de las tecnologías para minimizar los riesgos para la salud en ambientes interiores, son necesarios programas de prevención, promoción y saneamiento integral, que incluyan inspecciones periódicas a estructuras, sistemas de aireación y ambientes exteriores, monitoreo y análisis microbiológico del aire interior que permitan identificar géneros frecuentes y validar instrumentos de medición/análisis.

## Elaboración de un índice de sostenibilidad (indicadores ecológicos, económicos y sociales) de sistemas acuáticos de la provincia de Santa Fe

Ana María Gagnetten<sup>11</sup> y Mercedes Marchese<sup>12</sup>

Los ambientes fluviales de la provincia de Santa Fe reciben diferentes descargas puntuales y difusas provenientes de actividades industriales, agrícola-ganaderas y domésticas. A pesar del tamaño de esos ambientes, pueden evidenciar la presencia de diferentes sustancias y manifestaciones en las comunidades biológicas como consecuencia de la actividad humana.

Los del sistema del río Paraná enriquecidos orgánicamente fueron aquellos directamente afectados con descargas industriales y/o cloacales (Marchese y Ezcurra de Drago, 2006; Zilli y Gagnetten, 2005; Marchese *et al.*, 2008). Asimismo, se registró enriquecimiento con materia orgánica en los humeda-

---

11 Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

12 Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL. INALI (CONICET-UNL).



les según la carga de ganado (Mesa *et al.*, 2015, 2016). En el sistema del río Paraná se puede establecer un gradiente de asociación de especies indicadoras de condiciones tróficas desde ambientes con bajo contenido orgánico hasta ambientes eutróficos (Marchese *et al.*, 2002; Ezcurra de Drago *et al.*, 2007; Zilli y Montalto 2011, Marchese *et al.*, en prensa). Además, las asociaciones de especies dependen de la calidad química del agua, principalmente la conductividad además del enriquecimiento con materia orgánica del agua y sedimento del fondo.

En el río Salado (tributario del río Paraná) y en el río Santa Fe (cauce secundario) se observaron diferencias en la estructura de comunidades biológicas entre las estaciones aguas arriba, en la descarga de efluentes cloacales e industriales tendiendo a recuperarse aguas abajo. Esto coincide con los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), concentración de fosfatos y de clorofila *a* que también aumentan en las mismas estaciones.

La cuenca del río Salado también presenta altas concentraciones de metales, principalmente en los sedimentos de fondo, que es donde se produce generalmente la mayor acumulación de contaminantes en comparación con la columna de agua (Tabla 3.7.1). Los estudios sobre zooplancton en su tramo inferior muestran condiciones que permiten considerarlo entre meso y polisaprobio según Margalef (1983) (Gagneten *et al.*, 2007). Parte de la carga contaminante de este tramo se origina a través del arroyo Cululú, que recibe los efluentes industriales y urbanos de la ciudad de Esperanza.

Los resultados obtenidos indican que los metales no afectan de forma similar a los distintos componentes del zooplancton, los cladóceros fueron los más afectados, mientras que los copépodos y rotíferos fueron los más resistentes. Los metales en la cuenca del río Salado facilitarían la proliferación de estrategias *r*, decreciendo la biomasa, la riqueza de especies y diversidad y favoreciendo la ocurrencia de unas pocas especies tolerantes y la disminución de las más sensibles. Estos efectos estarían relacionados principalmente con la acción del cromo y el cobre y con el alto grado de eutrofización del sistema. En comparación con ambientes menos contaminados, la biomasa fue mucho menor (Gagneten y Paggi, 2009). Las concentraciones de Cr del río Salado Inferior (Gagneten *et al.*, 2007) fueron muy superiores a los anteriormente registrados por Villar *et al.* (1998) en el río Paraná para sus tramos medio e inferior.

Si bien no se encuentran en la región centro norte, es interesante comparar estos resultados con los de otros ambientes fluviales de la provincia. En el sistema de los arroyos Colastiné–Corralito, que desembocan en el río Coronda, Regaldo *et al.* (2018) registraron niveles muy altos de contaminación por metales (Tabla 3.7.1) y también midieron plaguicidas. En todos los sitios se manifestó el siguiente orden en la concentración en sedimento: Pb>Cu>Cr>As. El

plaguicida Atrazina estuvo presente en concentraciones superiores que el endosulfán, aunque nunca sobrepasó los niveles guía, mientras que el endosulfán (un insecticida prohibido en Argentina entre muchos otros países) los superó en el 27 % de las muestras de agua analizadas.

En arroyos del centro sur de la provincia de Santa Fe no se detectó Glifosato en agua y sedimentos, mientras que el AMPA (metabolito del Glifosato) se detectó en el 60,7 % de las muestras de agua y en el 71,4 % de las muestras de sedimentos. La Atrazina se detectó en todas las muestras, la concentración máxima fue  $44 \mu\text{gL}^{-1}$ , superando 22 veces los niveles guía (NG) canadienses propuestos para la protección de la biota acuática. Otros plaguicidas fueron registrados, aunque no superaron los niveles guía establecidos para Argentina (Gagnetten *et al.* en prensa).

El grupo de trabajo está desarrollando desde 2017 un proyecto CAI+D orientado cuyos objetivos generales son desarrollar un índice de sostenibilidad que integre aspectos ecológicos, sociales y económicos, que permita diagnosticar la salud ambiental de sistemas acuáticos de la provincia de Santa Fe y que constituya una herramienta valiosa para la gestión del riesgo en estos sistemas. Los actores sociales son: Ministerio de Medio Ambiente provincia de Santa Fe, Municipalidad de Santa Fe, la Municipalidad de San Justo, la Organización Los sin Techo y Trama Tierra–Biocolectivo por la sustentabilidad. Además, entre las producciones del equipo de trabajo, se elaboró la publicación «Protocolos para biomonitoreos de ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe» (Ediciones UNL). Gagnetten, A.M. y Marchese, M. (Compiladoras).

## Resultados preliminares

Se realizaron distintos talleres con el equipo de trabajo y con representantes de las instituciones adoptantes y demandantes para definir criterios de selección de indicadores sociales, económicos y ecológicos y establecer las bases de datos a utilizar, y dos talleres con los actores sociales en los barrios Barranquitas y San Pantaleón de la ciudad de Santa Fe.

Los datos ambientales obtenidos previamente en sistemas acuáticos de la provincia de Santa Fe (Tabla 3.7.1) fueron sintetizados y presentados a los organismos adoptantes y demandantes, quienes podrían utilizarlos para la gestión ambiental en sus jurisdicciones.

**Tabla 3.7.1.** Valores promedio de metales pesados y plaguicidas registrados en sedimento y agua superficial, en sistemas acuáticos del centro norte de la provincia de Santa Fe. Cuando se encuentran disponibles, se indican los niveles guías correspondientes a cada metal o plaguicida, valores que superan los niveles guía.

AMBIENTES	METALES			
	Cobre ( $\mu\text{gCu/g}$ )	Plomo ( $\mu\text{gPb/g}$ )	Cromo ( $\mu\text{gCr/g}$ )	Autores
Niveles Guía Canadá	35,70	35	37,3	Canadian Environmental Quality Guidelines (2003)
Río Salado (altura San Justo)	8,33  10,60 9,00	1,29  7,5 <9	1,01  5,5 <b>44,2</b> 13,1 13,0	Marchese (1997) Marchese (1997) Marchese <i>et al.</i> (2008) Gagneten y Paggi (2009) Zilli y Gagneten (2005)
Río Salado (altura Esperanza)	<b>35,70</b>	10	<b>55,1</b> <b>46,9</b> <b>85,5</b> <b>321,0</b>	Marchese (1997) Marchese (1997) Marchese <i>et al.</i> (2008) Zilli y Gagneten (2005)
Río Salado (altura Manucho)	9,50	7,2	<b>260,1</b>	Gagneten y Paggi (2009)
Río Salado (altura autopista Santa Fe)	19,54	9,47	<b>55,18</b>	Marchese (1997)
Arroyo Las Prusianas	21,06 21,00 18,80 16,20 1,85	13,96 17 20,5 9,23	9,71  <b>175 ,00</b> <b>120,90</b> 5,21 2,62	Marchese (1997) Zilli y Gagneten (2005) Gagneten y Paggi (2009) Tobke y Gagneten (2013)

Canal 1° de mayo (Rafaela)	50	10,00	<b>321,00</b>	Zilli y Gagneten (2005)
	9,50	7,20	<b>260,10</b>	Gagneten y Paggi (2009)
	10,50		<b>68,21</b>	Tobke y Gagneten (2013)
			<b>320,70</b>	Andreotti y Gagneten (2006)
	16,50		<b>68,21</b>	Tobke y Gagneten (2013)
Arroyo Cululú	17,38		5,21	Tobke y Gagneten (2013)
Río Santa Fe (altura desagüe cloacal)	20,37	12,98	24,55	Marchese (1997)
Río Santa Fe	6,59	4,61	5,64	Tobke y Gagneten (2013)
Santo Tomé	0,13		1,06	Tobke y Gagneten (2013)
Cayastá	0,81		1,82	Tobke y Gagneten (2013)
Sistemas de reservorios de la Reserva Natural Urbana del Oeste (RNUO)	1,56	7,26	16,69	Vaschetto <i>et al.</i> (2019)
Arroyos Colastiné – Corralito	20,87	25,6	12,1	Regaldo <i>et al.</i> (2018)
Laguna Setúbal		9,0	6,46	Tobke y Gagneten (2013)
Parque Industrial Sauce Viejo	17,98	9,22	4,96	Tobke y Gagneten (2013)
Sauce Viejo	7,91		5,98	Tobke y Gagneten (2013)

En virtud de los resultados expuestos, se recomienda a los organismos de gestión ambiental, revisar los niveles guía nacionales de agroquímicos y metales dado que los organismos y comunidades indicadoras estudiados muestran que aún valores por debajo de los niveles permisibles tienen efectos negativos sobre la biota acuática. También se recomienda considerar los efectos sobre organismos no blanco de la fauna nativa, los que habitualmente no son tenidos en cuenta para el establecimiento de niveles guía.

## **Riesgo hídrico**

Con referencia al riesgo hídrico, expertos nacionales en el tema mencionan que no existe una concepción del concepto de riesgo que unifique las diferentes aproximaciones y enfoques. El concepto de riesgo es genérico y no queda establecido hasta que no se refiera a ¿riesgo de qué? Comúnmente se asocia el riesgo hídrico a la afectación por crecidas de ríos y la consecuente inundación de zonas ribereñas. Otro factor desencadenante de anegamientos en zonas llanas es el ascenso de niveles freáticos y su ubicación cercana al nivel del terreno. La ocurrencia de precipitación sobre áreas con este tipo de perfil de suelo saturado genera un flujo superficial de saturación.

El riesgo por inundación se refiere a la posibilidad que tiene una zona de sufrir daños físicos, ambientales, económicos y sociales. Es un concepto amplio que involucra la amenaza (crecidas, niveles freáticos elevados, exceso de lluvias, etc.) y la vulnerabilidad del medio (que incluye peligros naturales o inducidos por el hombre), expresada como la capacidad de resistir la amenaza. En este contexto, el riesgo hídrico es la probabilidad de que se superen determinadas magnitudes del fenómeno considerado (intensidad/monto de precipitación, altura máxima del río, caudal pico, permanencia, etc.). De acuerdo con Banco Mundial, Argentina está entre los 14 países más afectados por catástrofes de inundaciones. Durante los últimos 50 años del siglo pasado, ocurrieron al menos 12 episodios importantes de este tipo, lo que representa una frecuencia media de inundaciones de alrededor de un evento cada cuatro años, con elevadas pérdidas en la infraestructura, en la producción agropecuaria, en bienes privados y actividades económicas, y vidas humanas.

En la provincia de Santa Fe se han identificado algo más de 150 localidades con problemas de anegamiento y riesgo hídrico. Dichas localidades involucran aproximadamente 2 250 000 habitantes afectados directa y/o indirectamente, lo que representa el 43 % del total de comunas y municipios y el 75 % de la población de la provincia, respectivamente. Atendiendo a esta problemática, a través de la ley provincial 11730 Áreas de Riesgo Hídrico, la pro-

vincia estableció el régimen de uso de bienes situados en las áreas inundables, definiendo tres áreas en relación con la posición relativa de la misma respecto a los cauces naturales y artificiales y cuerpos de agua permanente. En el Código Civil y Comercial de la Nación, en consonancia con la mayoría de los países iberoamericanos, los ríos se delimitan a través de la «Línea de Ribera», que es la «que fija el promedio de las máximas crecidas ordinarias». Sin embargo, en la provincia de Santa Fe, la aplicación de este concepto no es sencillo debido a la escasa disponibilidad de información hidrológica, la variabilidad en magnitud y alcance de las crecidas a través del tiempo en diferentes zonas de la provincia y la variedad de procesos morfológicos que modelan los entornos de los cauces.

La gestión del riesgo hídrico debe basarse en un buen conocimiento del medio físico y en la aplicación de tecnologías adecuadas, premisas que deben acompañarse con nuevos enfoques integradores para la toma de decisiones, como es la gestión integrada de recursos hídricos (GIRH). En ocasión del Decenio Internacional para la Acción «El agua fuente de vida 2005–2015», las Naciones Unidas destacaban que la GIRH es un concepto empírico que nace de la propia experiencia de campo de los profesionales. Sin embargo, este concepto fue evolucionando, y hoy se podría definir como *un proceso que promueve la gestión y el desarrollo coordinados del agua, el suelo y los otros recursos relacionados, con el fin de maximizar los resultados económicos y el bienestar social de forma equitativa sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales*.

Dentro de la GIRH se enmarcan los procesos de gestión integrada de crecidas (GIC), con los que se promueve una apropiada combinación de estrategias, puntos y tipos de intervención (estructural y no estructural), a corto y largo plazo, y un enfoque participativo y transparente en cuanto a la toma de decisiones, según destaca la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

La provincia de Santa Fe acompaña este nuevo enfoque a través de la reciente sanción de la ley 13740, Ley de aguas, que en su primer artículo establece como objetivo: «regular la gestión integrada de los recursos hídricos de la provincia de Santa Fe, con el fin de promover los distintos usos del agua de manera sustentable a favor de las generaciones presentes y futuras, garantizando el derecho humano fundamental de acceso al agua potable».

Desde hace muchos años diversos grupos de investigación de la Universidad contribuyen a generar conocimiento científico-técnico que, junto con otras herramientas, sirve de base para la gestión territorial y el desarrollo sustentable, excediendo la dimensión hídrica. Es el caso del análisis de procedimientos de gestión del desarrollo sustentable en áreas inundables con gobernabilidad difusa, que toma como caso de estudio un sector del área metropolitana de la ciudad de Santa Fe.

Otro concepto implícitamente incluido en la GIRH es la seguridad hídrica, definida como «la disponibilidad de agua en aceptable cantidad y calidad para la salud, las actividades humanas, los ecosistemas y la producción, junto con un nivel aceptable de riesgos hídricos para las personas, el ambiente y la economía». Esta definición debe complementarse con criterios de equidad y sustentabilidad, y los efectos del cambio climático. En este sentido, investigadores de esta casa de estudio abordan la perspectiva de la gobernanza del agua en el marco de la Ley de aguas de la provincia, aportando elementos de juicio o variables que caractericen cada escenario problemático, fundamentalmente en cuanto a actores relacionados y dimensiones del problema, proponen herramientas metodológicas buscando niveles de efectividad realmente alcanzables, y plantean lineamientos de fortalecimiento institucional del sector de agua y saneamiento en la provincia.

Además de los aspectos jurídicos y de gestión, la evaluación del riesgo hídrico y territorial requiere de un acabado conocimiento del paisaje, de sus características geológicas y geomorfológicas. Las mismas condicionan la evacuación de los excesos hídricos durante épocas de excesos hídricos. Las investigaciones han avanzado en el ordenamiento geomorfológico de la región centro norte de la provincia, aplicando técnicas basadas en el procesamiento e interpretación de imágenes de sensores remotos, datos de campo y otras técnicas, que en conjunto permitirían conocer la dinámica espacio-temporal de las cuencas de drenaje, su estructura y funcionamiento, y en consecuencia evaluar el riesgo hídrico.

Otra característica del paisaje de la región que está siendo investigada es la red de múltiples cauces secundarios además del principal del río Paraná, con diferentes órdenes de tamaño, conectividad y actividad hidro-sedimentológica, identificados genéricamente como los cauces secundarios del río. A pesar de su importancia física, biótica, social y económica, el conocimiento de esta red de cauces es fragmentario. En ambientes de este tipo también se han obtenido indicadores espaciales que diferencian segmentos de cauces a escala regional, tales como el comportamiento hidrológico, el tipo geomorfológico de entorno fluvial, clases de suelos, entre otros, que podrían contribuir a la delimitación de líneas de ribera.

Por último, el conocimiento del medio físico para abordar la gestión del riesgo hídrico no se limita a los cauces y zonas de ribera. Los sistemas de llanura poseen bajas pendientes superficiales, por lo que los procesos hidrológicos verticales suelen predominar sobre los horizontales en el balance hídrico, excepto durante períodos de excedencia hídrica extrema. Basado en el tratamiento de imágenes satelitales y modelación hidrológica, grupos de trabajo investigan la generación de anegamientos en superficie en el centro de la pro-

vincia, no por crecidas de ríos sino por ascenso de niveles freáticos. La delimitación de áreas con este tipo de comportamiento se convierte así en un insumo para la gestión hídrica de la llanura santafesina.

El paisaje de la región centro norte de la provincia de Santa Fe, su respuesta frente a cambios climáticos ocurridos durante el último periodo geológico

*Daniela M. Kröhling*<sup>13</sup>

El paisaje de la región exhibe un variado conjunto de geoformas resultantes de procesos exógenos (vinculados al clima) y endógenos (tectónica), que permiten reconocer los cambios ambientales y climáticos registrados en el pasado geológico reciente (Cuaternario). Dado que este reúne elementos antiguos (no generados por procesos geomórficos actuantes) y actuales, la investigación comprende el análisis de los procesos que afectaron el paisaje en un contexto de tiempo geológico, a diferentes escalas. El mosaico de geoformas resultantes permite reconstruir la sucesión de ambientes. Particularmente, la llanura chaco–pampeana es un ambiente frágil frente a los eventos hidro–climáticos extremos (déficits o excesos hídricos), por lo que su conocimiento geológico es clave a fines del pronóstico. Las características geológicas y geomorfológicas del centro oeste de Santa Fe condicionan los problemas de evacuación de los excesos hídricos durante los períodos climáticos húmedos (Iriondo y Kröhling, 2007). Con un aumento de precipitaciones por encima de la media histórica a partir del año 1970, los sistemas hídricos sufrieron importantes cambios, que dieron lugar a fluctuaciones significativas y al incremento de los niveles freáticos, aumentando la vulnerabilidad al anegamiento e inundaciones. Extender el análisis al registro pre–instrumental permite conocer la dinámica espacio–temporal de las cuencas de drenaje, su estructura y funcionamiento, y en consecuencia evaluar el riesgo hídrico.

Con el objeto de avanzar en el ordenamiento geomorfológico de la región, se aplican técnicas basadas en el procesamiento e interpretación de imágenes de sensores remotos y datos de campo, incluyendo la elaboración de una cartografía geomorfológica. La definición de las condiciones estratigráficas, estructurales y geomorfológicas a diferentes escalas espaciales se basa en datos sedimentológicos, estratigráficos, pedológicos e información geofísica del subsuelo, complementados con datos de laboratorio y perforaciones de investigación. Ello permite analizar el impacto de eventos climáticos extremos sobre

---

13 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL (CONICET–UNL).



el paisaje considerando períodos de retorno basados en el registro instrumental, histórico y geológico recientes. De esta manera se reconstruyen escenarios pasados de eventos de inundación/anegamientos preinstrumentales con períodos de retorno de 1000 años o más, tomando como base la información paleo-climática. Esto permite definir umbrales de riesgo de anegamientos e inundaciones tanto para bajos anegables de diverso origen como para valles fluviales, asociados a recurrencias inéditas para el registro instrumental.

## Resultados

El centro norte de Santa Fe comprende parte de dos Provincias Geomorfológicas: La Pampa Norte y El Chaco, las que integran un registro en el paisaje que revela una historia de cambios climáticos notables durante el Cuaternario (Iriondo, 2010). Estas se subdividen en los Sistemas Geomorfológicos: 1) Planicie Loésica de Pampa Norte, 2) Mega-Abanico Fluvial del río Salado/Juramento; y 3) Sistema Fluvial del Paraná, las que a su vez comprenden unidades geomorfológicas (UG) de jerarquía menor. El control estructural (tectónico) sobre la formación del paisaje de la región ha sido significativo durante el Cuaternario. Algunos rasgos típicos generados por procesos superficiales presentan un control endógeno, o han sido modificados por reactivación de fallas. Pueden citarse como ejemplo los cambios registrados en el desarrollo de mega-abanicos fluviales, la modificación de la dirección del drenaje superficial y del patrón de fajas fluviales, la asimetría en pequeñas cuencas fluviales, el desarrollo de humedales y lagunas, influyendo además en la dinámica hidrogeológica. La morfoestructura más notable del centro oeste santafesino es el Bloque Elevado de San Guillermo (BESG), siendo la estructura positiva más importante de la Pampa (Kröhling e Iriondo, 2003; Brunetto *et al.*, 2017). Presenta un desnivel típico de 15 a 35 m con respecto a las unidades vecinas, particularmente con la Depresión Tectónica de la Laguna Mar Chiquita, por el oeste. El BESG está limitado por fallas reactivadas durante el Cuaternario (Sistema de fallas Tostado-Selva, falla Rafaela, falla El Trébol; (Kröhling e Iriondo, 2003; Brunetto *et al.*, 2017) y su superficie constituye una planicie prácticamente horizontal con una muy leve pendiente general hacia el este-noreste, localmente atravesada por paleocañadas paralelas y paleocauces. Este paisaje caracteriza las áreas de cabeceras de las cuencas del Arroyo Cululú y de la Cañada Carrizales, entre otras cuencas vecinas, con drenaje actualmente deficiente (Kröhling y Brunetto, 2013). Debido a su posición topográfica, durante el Cuaternario, el BESG estuvo sujeto a sedimentación eólica (loess), sin sedimentación ni erosión por sistemas fluviales jerarquizados. Este paisaje es diferente al del este de

la provincia de Santa Fe, dominado por la acción fluvial (sistema del Paraná y faja fluvial del Salado). La secuencia sedimentaria del BESG incluye una formación geológica de subsuelo (Fm Palo Negro, Brunetto *et al.*, 2017), representativa del relleno sedimentario de un humedal palustre, cuyas características sedimentológicas le confieren un alto grado de impermeabilidad, reduciendo la velocidad de infiltración del agua de lluvia en la columna sedimentaria. El NO de la provincia ocupa la zona distal del mega–abanico del río Salado/Juramento (que en la geografía local se denomina Bajos Submeridionales), cuyas UG definidas son el resultado de la interacción entre la dinámica fluvial, la neotectónica y los eventos de inundación extendidos, alternantes con eventos eólicos durante el Cuaternario. La columna sedimentaria de dicho ambiente presenta una unidad formada por limos arcillosos acumulados en ambientes palustres (humedal) que evolucionaron a un ambiente subaéreo de tipo loésico (Fm Fortín Tres Pozos, Iriondo, 2010; Thalmeier *et al.*, 2021), yaciendo sobre arenas del río Paraná (Fm Ituzaingó).

#### Conclusiones/recomendaciones

La información geológica generada por el grupo de trabajo indica que toda la región ha sufrido una secuencia de episodios áridos y húmedos alternantes que condicionaron la dinámica del paisaje. Los períodos húmedos se vinculan con el desarrollo de fajas fluviales, la expansión lacustre, el desarrollo de humedales en las zonas distales de los mega–abanicos chaqueños y en la región oeste de la provincia, y la pedogénesis, mientras que en los eventos áridos se generaron los mantos loésicos que suavizaron las formas menores del paisaje y campos de dunas y cubetas de deflación, acompañados por la decapitación de suelos. Dicha reconstrucción paleoambiental permite proyectar nuevos escenarios frente al cambio climático recientemente instalado.

## Tipología de cauces secundarios del río Paraná en Santa Fe

Carlos G. Ramonell,<sup>14</sup> Ramiro Alberdi,<sup>14</sup> Soledad Pereira<sup>14</sup>

y María Pía Fernandez<sup>14</sup>

El río Paraná en Santa Fe posee una planicie aluvial de unos 12 000 km<sup>2</sup> de extensión (Alberdi *et al.*, 2018), de los cuales más del 85 % se encuentran al N de la ciudad capital, lo que representa un 7,5 % de la superficie provincial. Uno de sus rasgos sobresalientes es la persistencia de una red múltiple de cauces además del principal, con diferentes órdenes de tamaño, conectividad y actividad hidro-sedimentológica, identificados genéricamente como los *cauces secundarios* del río (en adelante, cs). A pesar de su importancia física, biótica, social y económica (Minotti *et al.*, 2013), el conocimiento de esta red de cauces es fragmentario y los intentos de sistematizarlo, muy limitados.

Aquí se brinda una tipología jerárquica, abierta y de naturaleza predictiva de los cs *activos* del Paraná basada en propiedades genético-evolutivas y de interrelación funcional hidráulico-hidrológica, sedimentológica, geomorfológica y, muy incipiente, de interacción con la vegetación. La misma se basa en estudios académicos y técnicos desarrollados desde la confluencia del río Paraguay hacia aguas abajo, a partir de la distinción de cs delineada por Ramonell *et al.* (2000) y Ramonell y Latrubesse (2010). Parte de los trabajos con autores asociados que fundamentan la tipología son los de Ramonell y Amsler (2005), Castro *et al.* (2007), Ramonell *et al.* (2013, 2017), Marchetti *et al.* (2016), Bosio y Ramonell (2014), Marchetti y Ramonell (2014), Ramonell y Cristina (2014), Pereira (2016) y Cristina y Ramonell (2018).

### Identificación y variedad de cauces secundarios

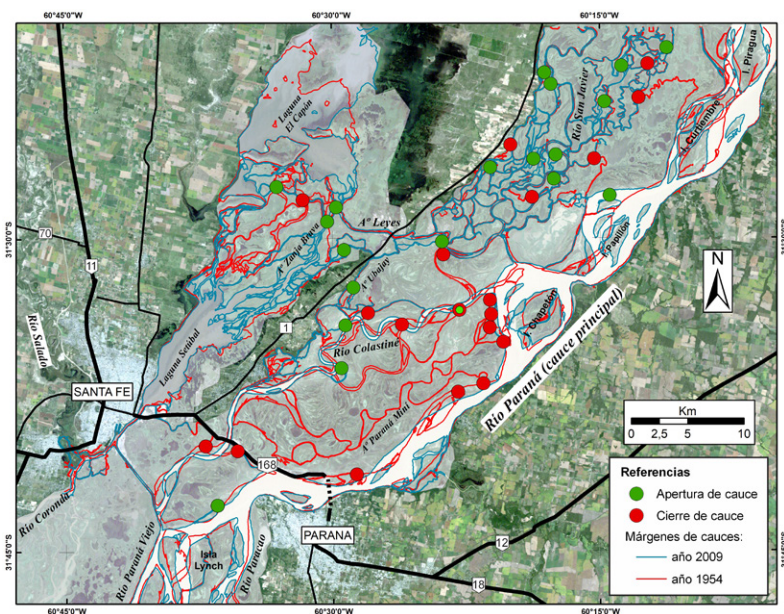
La denominación de cs en el sistema fluvial del Paraná no es precisa y se usa comúnmente para diferenciarlos del cauce principal (cp), de identificación sencilla por su mayor ancho (Figura 3.9.1) aunque no hay pleno consenso: como se aprecia en la figura, el cp posee una morfología en planta dada por la sucesión de tramos estrechos en los que el cauce es simple o monocal, y tramos más anchos donde se divide en dos o más brazos *importantes* en torno a islas, entre las que suele haber cauces menores también reconocibles como cs.

---

<sup>14</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

Los ensanchamientos del CP poseen entre 8 y 16 km de largo ordinariamente, y son semicirculares o fusiformes en planta, con anchos máximos menores a 8 km en todo el Paraná Medio (incluyendo a las islas y bancos de arena entre los brazos que lo forman).

En suma, el total de CS se identifica al definir con más precisión al CP, que comprende al brazo por el que fluyen los mayores caudales específicos (que aloja al thalweg del río normalmente) más los brazos *cortos* contiguos de ancho y/o caudal similar al de aquel. Así, en la Figura 3.9.1 se advierte la gran variedad de CS que difieren entre sí, en forma continua o no, en sus *longitudes* (L, como cursos «largos» vs. «cortos» en torno a  $L \approx 15$  km) y *relación ancho/profundidad* (B/h), *proveniencia de caudales* (directa del CP, indirecta por otros CS o mixta, i.e., con aportes desde las llanuras lindantes al río), *vinculación hidráulica con el CP* (en la embocadura, en ambos extremos o indirecta), *régimen hidrológico* (flujo permanente o no, que incluye al bidireccional) y *continuidad* (caudal uniforme o variable en L), *origen* (deposicional, erosivo, relictual, etc.), *tendencia morfológica* (cursos estables, en decrecimiento, en agrandamiento) y *perdurabilidad temporal* (de propiedades), *ajuste hidromorfológico* (a ecuaciones de geometría hidráulica), *composición de márgenes* (friables vs. resistentes a la erosión) y *del lecho* (arenoso, fangoso, cohesivo —sedimentos antiguos—, mixto), *movilidad lateral máxima común* (en torno a la decena de m/año o intermedia, cercana al m o dm/año o baja, cauces fijos), *morfodinámica y geometría en planta* (cauces rectos, meandriformes regulares o irregulares —de alta o baja sinuosidad—, en arco, etc.), y *% de vegetación hidrófita en las márgenes*.



**Figura 3.9.1.** Hidrografía de la planicie aluvial del río Paraná al N de Santa Fe-Paraná en 1954 y 2009; los círculos indican sitios de cambios en los CS hacia 2009 (Alberdi y Ramonell, 2013; se indica la reactivación –léntica a lótica– del A° Paraná Miní, en curso actualmente, desde el Colastiné).

#### Zonificación base y tipología de los cauces secundarios

Marchetti *et al.* (2016) diferenciaron dos fajas longitudinales en la planicie aluvial del Paraná, una modelada por el CP y CS con conexión directa a este, caracterizada por conjuntos de geformas originadas en la divagación lateral de cauces (bancos e islas de acreción lateral, espiras de meandro, albardones coalescentes) y otra paralela a la anterior, de menor actividad morfodinámica dada la ausencia de esos rasgos y la poca movilidad de sus cauces cotejada con cartografía histórica. Así, el 1er. nivel de esta tipología diferencia los CS en: A) CS *del* CP, ubicados en la faja modelada por él o en sus adyacencias inmediatas, con caudales que provienen directamente del CP; y B) CS *de la planicie*, cuya vinculación hidrológica e hidráulica con el CP es indirecta; en este nivel existe una tercera categoría: C) CS *singulares*, descrita al final por razones editoriales de espacio.

A diferencia de los CS *de la planicie*, los CS *del CP* poseen parámetros de calidad de aguas (en principio, concentraciones de limos y arcillas en suspensión, salinidad y temperatura) similares a los del CP, que son homogéneos en todo su ancho recién al sur de los 30° s.

En el 2do. nivel, los CS *del CP* pueden ser: A1) *Arroyos y riachos divergentes del CP*, de características distributarias e incluso deltaicas; o bien *brazos* que se originan y terminan en el CP, entre los que hay dos tipos: A2) *Mayores* ( $L \gg 15$  km); y A3) *Menores* ( $L \ll 15$  km). Los dos últimos tienen patrones meandriforme regular, recto o recto con meandros, diferenciándose entre los (A2) (3er. nivel de la clasificación) los: A2a) *anchos*; y A2b) *angostos*, según B mayor o menor a  $\approx 200$  m; los (A2b) son de baja movilidad lateral aún en curvas y poseen  $B/h < 30$ . Entre los *brazos menores del CP* se reconocen a este nivel los: A3a) *deposicionales*, de B/h alta, formados entre bancos que evolucionaron a islas; A3b) *erosivos*, que cortan esas geoformas; y A3c) *residuales*, CS estables o en decrecimiento debido al atrape de sedimentos por hidrófitas en sus márgenes (una variedad son los *remanentes de thalweg*, de traza en arco que delinea el borde externo de un antiguo ensanchamiento). La movilidad y B/h de los (A3c) es como la de los (A2b). Las márgenes de los CS *del CP* son friables mayormente (en los A1 y A2a las hay también resistentes) y sus fondos, arenosos (en CS tipo A2b y A3c pueden ser fangosos).

En cuanto a los CS *de la planicie*, presentan todas las clases de márgenes y fondos indicados al final del ítem previo (suelen no ajustar en geometría hidráulica por ello), caudales variables siguiendo el flujo y movilidad baja o nula (intermedia solo en curvas de los de mayor B, que en pocos casos superan los 200 m). Así, al 2do. nivel se diferencian los: B1) CS *Mayores de la planicie*, de patrón meandriforme irregular o recto,  $B \gg 100$  m y longitudes de varias decenas de km a lo largo de las cuales alimentan un sistema conexo de: B2) *Arroyos y riachos anastomosados*, de cursos individuales estrechos y muy sinuosos; o de: B3) *Arroyos y riachos divergentes*, en parte anastomosados pero menos sinuosos, originados en surcos de desborde y con morfodinámica erosiva en sus tramos superiores y de progradación deltaica o de derrames en los inferiores; los (B2), (B3) y (A1) alimentan lagunas desaguadas por: B4) CS *concatenados con lagunas*, condicionados por la regulación lagunar de los caudales líquidos y sólidos. Finalmente, los CS *singulares* comprenden a los: C1) *Riachos y arroyos compuestos*, de atributos variables por tramos ya que se conformaron por capturas e integración de diferentes CS (e.g., A3c + A2b + B3), evidentes por su traza en planta heterogénea; y C2) CS *intervenidos*, de forma o dinámica alteradas in extenso por intervenciones antrópicas.

## Conclusiones y recomendaciones

Los cs son parte fundamental del sistema fluvial del río Paraná en Santa Fe y contribuyen a la distribución de aguas, sedimentos y demás nutrientes en todo el ancho de la planicie, incrementando la diversidad de geoformas y hábitats bióticos que sus dinámicas generan y transforman en diversas escalas de tiempo. La tipología propuesta sintetiza sus jerarquías y relaciones funcionales, y permite inferir algunas propiedades (de estado, de transformación y/o genéticas) al identificar la clase de cs aún por observación remota. Así, su empleo (y mejora, desde nuevos aportes) favorecerá a los estudios tanto académicos como a los que propendan a la planificación integral y sostenible de intervenciones en el río Paraná.

Probabilidad de la saturación del perfil del suelo en función del concepto de áreas fuentes variables en zonas de llanura

*Carlos C. Scioli,<sup>15</sup> Camilo A. Álvarez León<sup>15</sup> y Raúl A. Pedraza<sup>15</sup>*

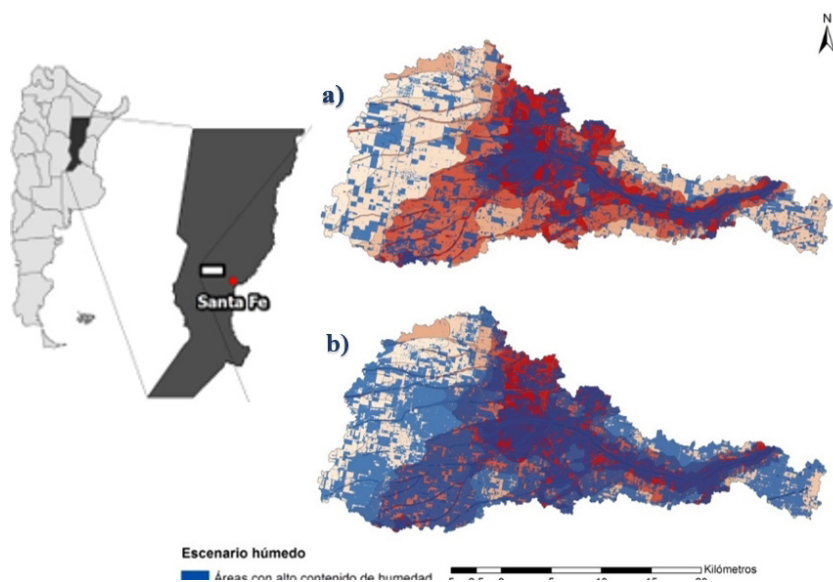
La cuenca inferior del río Salado en la provincia de Santa Fe muestra un paisaje de llanura con una alta exposición y vulnerabilidad a los eventos hidrológicos extremos. Un ejemplo de esto fue la crecida de abril de 2003, que afectó un tercio de la población de la ciudad de Santa Fe, causando muertes e importantes pérdidas económicas. Surge, entonces, la necesidad de proporcionar a los tomadores de decisiones información del funcionamiento de los sistemas hidrológicos de llanura para la elaboración de obras estructurales y políticas públicas orientadas a aumentar la resiliencia de la región ante potenciales desastres de origen hidrológico.

Los sistemas de llanura poseen bajas pendientes superficiales, por lo que los procesos hidrológicos verticales suelen predominar sobre los horizontales en el balance hídrico, excepto durante períodos de excedencia hídrica extrema (Fuschini Mejía, 1994). Asociado a este fenómeno de balance vertical, en general se observa una marcada dependencia de la respuesta de la escorrentía al estado de humedad de la cuenca (Sallies, 1999), en especial a las variaciones del nivel freático (NF). Si bien los procesos dominantes son, en general, la evaporación y la infiltración, cuando el NF se acerca al nivel del terreno, satura el perfil del suelo y limita la capacidad de infiltración del mismo. Esto puede ocasionar grandes excedentes superficiales ante la ocurrencia de precipitaciones incluso moderadas o leves.

---

<sup>15</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

La ocurrencia de precipitación sobre áreas con un perfil de suelo saturado genera un flujo superficial «de saturación». Estas áreas saturadas se generan en depresiones del paisaje y en extensiones de la red de drenaje y se denominan áreas fuentes variables (variable source area, VSAs). En la Figura 3.10.1 se presenta la cuenca del Arroyo las Prusianas, donde se han determinado las VSAs. Se observa cómo varía el tamaño de las áreas con alto contenido de humedad de un período seco a uno húmedo, caracterizado por altos NF. Este cambio de humedad en el suelo torna difícil establecer relaciones simples entre la precipitación y el escurrimiento para cuencas de llanura (Scioli, 2016; Scioli *et al.* 2013).



**Figura 3.10.1.** Ubicación de la cuenca Arroyo Las Prusianas. a) Zonas de la cuenca con alto contenido de humedad en un escenario seco. b) Zonas con alto contenido de humedad en un escenario húmedo.

El Índice de Similitud Hidrológica (ISH) es una herramienta esencial para conocer la dinámica y distribución espacial de las VSAs en sistemas de llanura. Este índice representa la probabilidad de saturación del perfil del suelo por ascenso del NF en zonas de llanura. La metodología para la determinación del ISH se basa en técnicas de sistemas de información geográfica y teledetección. En una primera instancia, se determina un índice topográfico, el cual



representa la probabilidad de saturación de cada punto de la cuenca y se calcula con una expresión que varía directamente con la superficie drenada por unidad de longitud que drena en dicho punto e inversamente a la pendiente del terreno en el punto. En cuencas serranas, este índice describe adecuadamente las características topográficas y de drenaje. En cambio, en sistemas de llanura con pendientes inferiores al 2 % pierde su significado físico. Debido a las bajas pendientes, la expresión genera valores numéricos altos del índice, independientemente del tamaño del área drenada (Scioli, 2016).

El ISH se determina teniendo en cuenta las características topográficas y de drenaje de la cuenca y las propiedades físicas del suelo, incorpora los efectos sobre el suelo y la vegetación producidos por la alta frecuencia y permanencia de niveles freáticos próximos a la superficie del terreno en los sistemas de llanura. Esta característica particular de estos sistemas es aprovechada en la formulación del índice.

La implementación del ISH en la modelación hidrológica permite contemplar el concepto de VSAS en el proceso lluvia escorrentía en zonas de llanura. Por ello, es posible representar el proceso generador de escorrentía de saturación, el cual es importante en la cuantificación de crecidas extraordinarias en estas regiones (Scioli, 2016). Generalmente, los modelos hidrológicos utilizados en la práctica profesional no tienen en cuenta las VSAS como mecanismo de generación de escorrentía. Al no representar este fenómeno los modelos no logran reproducir el funcionamiento del sistema, obteniendo resultados inciertos a costa de la pérdida de significado físico de sus parámetros.

## Conclusiones y recomendaciones

Contar con un modelo hidrológico que represente los distintos mecanismos de generación de escorrentía permite disminuir la incertidumbre de la respuesta hidrológica de los complejos sistemas de llanura. Con el modelo es posible conocer la distribución espacio temporal del agua en el suelo, la cual es una información de utilidad para varias ciencias y actividades productivas. Por ejemplo, predecir la humedad del suelo es fundamental, tanto para actividades agrícolas ganaderas, como para acciones de mitigación de riesgo hídrico. Además, como el modelo es simple y de escasos parámetros se presenta como una herramienta de simulación hidrológica de gran utilidad en el campo profesional y científico. El mismo puede utilizarse como pronóstico y evaluación de impactos de crecidas extraordinarias o determinación de parámetros de diseño para obras hidráulicas en estas regiones.

Al predecir la distribución temporal de la escorrentía generada por precipitaciones sobre las cuencas de llanura, el ISH permite abordar temas tales como el control de inundaciones, la predicción de sus efectos, la disponibilidad de agua en cantidad y calidad para la producción y el análisis de alternativas de acción frente a potenciales alteraciones climáticas.

La información que brinda el índice es fundamental para la complementar los mapas de riesgo hídrico que utiliza la provincia de Santa Fe para reglamentar el uso de suelo (ley provincial 11730). La representación espacial de las vsas permitiría mejorar sustancialmente la escala de los mapas de riego hídrico actuales realizados por Mastaglia, *et al.* (2015), al agregar información de áreas anegadas por ascenso de NF. La determinación de mapas con un mejor detalle sin duda contribuirá a una mejor planificación del uso del suelo para las distintas actividades productivas de la región.

En el ámbito de la producción agropecuaria, el índice posibilitaría plantear con anticipación planes de mitigación que den respuesta a los anegamientos/inundaciones del sector. Con representación de la dinámica de las vsas se evalúa la aptitud del suelo para la actividad agropecuaria durante periodos húmedos y secos.

#### Las Áreas de Dominio Fluvial como definición alternativa de Líneas de Ribera en ríos y arroyos de la provincia de Santa Fe

*Ramiro Alberdi*<sup>16</sup> y *Carlos G. Ramonell*<sup>16</sup>

Delimitar y gestionar los sistemas fluviales siempre ha sido de interés público asociado al ordenamiento territorial, la mitigación del riesgo hídrico, el desarrollo de infraestructuras y el aprovechamiento de recursos naturales, y ha recibido distinto tratamiento en el ámbito internacional. En el Código Civil y Comercial de la Nación (CCCN), en consonancia con la mayoría de los países iberoamericanos, los ríos se delimitan a través de la «Línea de Ribera», que es la «que fija el promedio de las máximas crecidas ordinarias» (Art. 235). En la provincia de Santa Fe ese concepto no ha sido sencillo de aplicar por la escásima disponibilidad de información hidrológica, la variabilidad en magnitud y alcance de las crecidas a través del tiempo en diferentes zonas de la provincia (muchas veces influida antrópicamente) y la variedad de procesos morfológicos que modelan los entornos de los cauces. Así, la delimitación fluvial provincial alcanza solo a algunos puertos del río Paraná, y en gran parte del resto de los ríos provinciales mediante la reglamentación del año 2013 de la

---

<sup>16</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

ley provincial de Bienes Inundables 11730, en la que se definieron fajas de anegamiento por recurrencia combinando estadística hidrológica con imágenes satélites disponibles, como aproximación expeditiva al funcionamiento real de los sistemas fluviales. En esta contribución se delimitan Áreas de Dominio Fluvial (ADF) como aquellas zonas en las que distintos elementos persistentes del paisaje o individualizables desde diferentes registros cartográficos de libre adquisición, materializan los límites ribereños, configurando una base para una futura propuesta de reconceptualización jurídica y técnica de la Línea de Ribera (Alberdi y Ramonell, 2018a).

### Área de estudio, información utilizada y método de análisis

El territorio provincial tiene al río Paraná como colector principal de los distintos cursos que escurren mayoritariamente hacia el Este. Asumiendo que los ríos no conservan sus propiedades en toda su extensión, se analizaron segmentos de algunos cauces representativos de la diversidad hidrográfica provincial, involucrando a seis de las grandes cuencas fluviales, entre ellas el río Salado y el Carcarañá, dentro de dos regiones fisiográficas fluviales (Ramonell *et al.*, 2010). La metodología empleada considera antecedentes locales de propuestas de evaluación fluvial a escala de campo y regional (e. g. Ramonell y Amsler, 2002; Bosisio *et al.*, 2015). Se confeccionó una base de información geográfica en entorno SIG con antecedentes bibliográficos a partir de la década del 50' (e. g. Ramonell y Amsler, 2005), registros de alturas hidrométricas; imágenes satelitales de picos de crecidas; Modelos Digitales de Elevación y cartas topográficas del Instituto Geográfico Nacional (IGN); fotografías aéreas históricas; mapas de aptitud y capacidad productiva de suelos del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), áreas de restricción de la ley provincial 11730; mapas de índices de vegetación sobre imágenes satelitales; y reconocimientos *in situ* de los tramos de estudio.

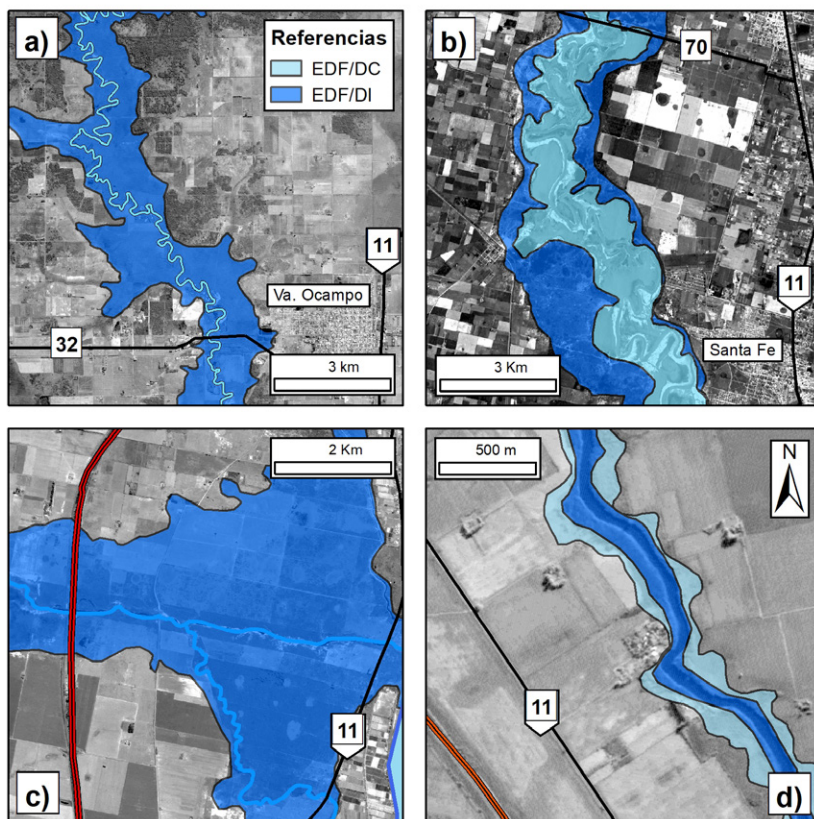
### Resultados

Se obtuvieron indicadores espaciales (Tabla 3.11.1) que diferencian a los segmentos entre sí a escala regional: el comportamiento hidrológico (estable/creciente/decreciente, posaño 1980), el tipo geomorfológico de entorno fluvial (con o sin planicie aluvial, cauce incidido o encajado), materialidad del límite (hídrica o morfológica), clases de suelos (cantidad) y valores de NDVI (Marchetti *et al.*, 2016).

**Tabla 3.11.1.** Indicadores espaciales de aspectos funcionales de los cauces.

<b>Cauce</b>	<b>Segmento</b>	<b>Hidrología</b>	<b>Carácter geomorf.</b>	<b>Materialidad del límite</b>	<b>Cant. Suelos</b>	<b>NDVI</b>
A° Los Amores	RN 11 a RP 30	Estable o decreciente	Planicie aluvial	Hidrológica	1	1 clase
A° del Rey	De Reconquista a 30 km aguas arriba					
R. Salado	Santo Tome a RP 6	Creciente	Encajado	De cauce	2	2 clases
A° Colastiné	De R. Paraná a 11 km aguas arriba					
R. Carcarañá	De R. Paraná a Andino					
A° del Medio	De R. Paraná a La Emilia				1	1 clase

Sintetizando las expresiones espaciales de las categorías de la tabla, se confeccionaron los polígonos de límites de las ADF (Figura 3.II.1). Para el A° Los Amores y A° del Rey, se determinaron ADFs amplias que son inundadas en su totalidad por un régimen hidrológico estable o con tendencia decreciente en el promedio de niveles máximos anuales, permitiendo delimitarlas a través de rasgos relativamente constantes en el terreno, como el cambio de pendiente en la topografía, de cobertura vegetal y de patrón de uso del suelo (cambio de rural intensivo a uno de usos no agrícolas), como así también mediante el mapa de aptitud de suelos.



**Figura 3.11.1.** Polígonos de ADF en algunos de los diferentes tramos estudiados; a) A° Los Amores; b) Río Salado; c) A° Colastiné; d) Río Carcarañá. ADF/DC: Áreas de Dominio Fluvial del cauce. ADF/DI: Área de Dominio Fluvial de Inundación.

Las ADF del río Salado y el A° Colastiné abarcan amplias áreas de inundación con tendencia creciente, en tanto que los procesos de cauce ocurren en un área mucho más reducida que la del anegamiento de la faja. Los tramos restantes presentan configuraciones geomorfológicas muy distintas a los grupos anteriores. El carácter encajado del cauce impone a la hidrología un confinamiento que la coloca en un segundo plano, en relación con los procesos que operan erosionando las márgenes y cambiando así los límites territoriales del río y la ocupación ribereña.

## Conclusiones y recomendaciones

En un contexto regional de diversidad hidrográfica, influencia antrópica y carencia de información básica, la definición actual de Línea de Ribera establecida por el CCCN se torna inaplicable conceptual y técnicamente. En ese sentido, las ADFS son un emergente de Línea de Ribera en ríos y arroyos donde hay escasez o inexistencia de información hidrológica, y con diferente variedad tipológica de cauces y de evolución geomorfológica a corto plazo, y con cambios en el régimen hidrológico por acciones antrópicas directas (canalizaciones, trasvases de cuenca, represamientos, etc.) o indirectas (fundamentalmente, cambios de uso del suelo asociados a la expansión de la frontera agrícola o a las prácticas de monocultivo).

Las recomendaciones en torno a la problemática estudiada y los posibles enfoques apuntan en primer lugar a la densificación de fuentes de datos, a la compilación y actualización sistemática de las existentes y al rediseño técnico y jurídico de los límites del dominio público en base a sus características específicas. En ese contexto, las líneas de estudio que contribuirían a resolver la problemática involucran a la regionalización de sistemas fluviales, la clasificación de tipos de límites según situaciones territoriales (urbano/rural, natural/antrópico, entre otras (Ramonell y Alberdi, 2019), y su modelación y registración catastral (Alberdi y Erba, 2018b).

## Procedimientos de gestión del desarrollo sustentable en áreas inundables con gobernabilidad difusa

*Enrique R. Mihura*<sup>17</sup>

En la Cuenca del Plata existe una gran cantidad de estos casos cuyas principales características son: zonas bajas y periódicamente inundables, aldeañas y/o formando parte del valle de inundación de grandes ríos, conformadas por espacios continentales, surcados por riachos y arroyos, zonas de islas, selvas en galería; ambientes palustres y lacustres poseedores de alta biodiversidad, prestadores de servicios ambientales; asentamiento de pequeñas localidades, parajes, zonas de recreación de grandes ciudades, que reproducen patrones de ocupación y uso del suelo propios de zonas de llanuras altas; periféricos a sistemas urbano-ambientales saturados y expulsores de poblaciones con necesidades básicas insatisfechas y proveniente de clases medias y altas en búsqueda de una mejor calidad de hábitat; objetos del desarrollo turístico, a partir de los nue-

---

17 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

vos enfoques mundiales. La hipótesis es que la implementación de «procedimientos de gestión del desarrollo sustentable en áreas inundables con gobernabilidad difusa», implicará la transformación de estos sistemas complejos en «sujetos del desarrollo», con capacidades suficientes para gestionar la implementación de medidas en los sistemas superiores; construir planes, programas y proyectos que generen procesos de crecimiento económico, con equidad y sustentabilidad ambiental y planes de contingencia frente a situaciones extremas. El caso seleccionado para desarrollar el proceso de investigación es un ambiente insular subdesarrollado, con un estilo de desarrollo insustentable, que integra la región centro en Argentina. Localizado en la Región Metropolitana Santa Fe–Paraná, se encuentra delimitado por el canal de acceso al Puerto de Santa Fe, el río Paraná, el Arroyo Leyes y la Laguna Setúbal y el Canal Derivación Norte. Su jurisdicción la comparten la Nación, la provincia de Santa Fe, las municipalidades de Santa Fe y San José del Rincón y la comuna de Arroyo Leyes. Tiene una superficie de 500 km<sup>2</sup>, una población de alrededor de 60 000 habitantes, su mancha urbana representa un tercio de la correspondiente a Santa Fe y reproduce los patrones de desarrollo de esta última. En su desarrollo se parte del hecho que la opción es contribuir a construir una nueva sociedad —sustentable— (Herrera *et al.*, 2004) que internalice el paradigma ambiental y actúe en consecuencia. Se tiene como supuesto que la construcción de una «mejor sociedad» requiere, entre otras acciones, las cinco estrategias siguientes (Mihura, 2018), cuyo diseño y elaboración constituyen uno de los productos relevantes del proceso de investigación: E1 «Considerar al ambiente como sistema—proceso de interacciones múltiples y adoptarlo como unidad de desarrollo» (Mihura, 2010), E2 «Imaginar y proyectar sociedades que nos permitan lograr y mantener armonía, con los sistemas no construidos por nuestra especie» (Pesci, 2007), E3 «Tomar conciencia sobre lo que se debería cambiar» (Odum *et al.*, 2012.), E4 «Materializar procesos de desarrollo sustentable, para construir sociedades de flujos cíclicos» (Max–Neff *et al.*, 1993; Dourojeanni, 1993; Mihura, 1991), E5 «Cambiar paradigmas de formación académica, ciencia y tecnología» (Pesci *et al.*, 2007; Checkland, 1993).

## Resultados

El trabajo grupal condujo a los siguientes logros y resultados: 1) Constitución de la unidad de análisis y desarrollo Microrregión Insular de Santa Fe, San José del Rincón y A° Leyes (MRI). Dentro de esta unidad se compiló una base de información esencial que incluye planos urbanos de estas localidades, áreas de riesgo hídrico ley provincial 11730, zonificaciones ley nacional de Bosques 26331, infor-

mación sobre infraestructura de defensas contra inundaciones, curvas de nivel territorial y de máximas crecidas registradas y cartografía propia en elaboración; 2) Establecimiento de un acuerdo sociopolítico sobre los ejes del desarrollo sustentable de la MRI: reconocimiento, cuidado y manejo del patrimonio natural y cultural, definición de modos de habitar, uso del suelo y actividades sostenibles, acuerdos de gobernabilidad y políticas; 3) Establecimiento de un acuerdo sociopolítico sobre la problemática principal cual es el aumento del riesgo de inundación como consecuencia del aumento de la vulnerabilidad del área debido a procesos de desarrollo socioeconómico insustentables; 4) Decisión académica e institucional de la UNL de investigar sobre procedimientos del desarrollo sustentable en áreas inundables con gobernabilidad difusa. Este hecho se manifiesta a través del acta constitutiva de la MRI y de su mesa técnico política. Además, se concretó la postulación de la MRI como Área Protegida Provincial en la categoría de Reserva Hídrica; 5) Formulación, presentación y desarrollo de proyectos de investigación, conformación de un equipo y espacio central de investigación interactiva y aprovechamiento del producido en actividades de enseñanza de grado y posgrado, extensión, servicios a terceros y gestión institucional. Se consideran auspiciosos los acuerdos académicos alcanzados para transformar a la MRI en un laboratorio a cielo abierto para desarrollar experiencias de desarrollo sustentable.

#### Conclusiones y recomendaciones

La especie humana tiene una responsabilidad superior sobre la perduración de la vida en el planeta y en la actualidad se ha transformado en el mayor factor de perturbación y desequilibrios, poniendo en riesgo su propia sobrevivencia. Sus sistemas de organización social son los principales focos de perturbación y constituyen la prioridad de intervención de cualquier proceso de desarrollo. La factibilidad de poner en marcha procesos de desarrollo sustentable se encuentra asociada a decisiones políticas instrumentadas bajo la coordinación de equipos de gestión y planificación político-técnicos, con capacidad de traducir el concepto de ambiente en un sistema de referencias que permita su intervención. También está asociada a la existencia de un sistema de gobierno (gobernanza) que implemente estrategias de gestión múltiples y simultáneas en distintos niveles de organización y gestión del sistema ambiental abordado. Las empresas colectivas micro regionales representan un diseño de gobernanza adecuado a construir en cada nivel de organización y gestión y cuentan con la flexibilidad necesaria para lograr las articulaciones verticales (interniveles) y horizontales, que doten de gobernabilidad a la unidad ambiental seleccionada. La identificación de los niveles de organización social del ambiente seleccio-



nado, para los que se formularán e implementarán las diferentes estrategias constituyen uno de los principales desafíos para un proyectista del ambiente. Los métodos holísticos de percepción, patrones e interfases constituyen algunas de las principales herramientas disponibles para concretarlo.

### Gobernanza del agua: Teoría y práctica de la gestión integrada de cuencas. La nueva Ley de aguas

*Luis Traba*<sup>18</sup>

La Seguridad Hídrica tanto como concepto y como estado de situación se puede lograr hilvanando posturas como la que propone la Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, con el postulado de la Gobernanza del Agua, originalmente proveniente de la Ciencia Política, vista como proceso articulador entre el Estado y la Sociedad (GWP, 2013; García Delgado y De Piero, 2001).

Desde esa perspectiva se aportan elementos de juicio o variables que caractericen cada escenario problemático, fundamentalmente en cuanto a actores relacionados y dimensiones del problema y se proponen herramientas metodológicas buscando niveles de efectividad realmente alcanzables. La idea de descentralización, los conceptos de gobierno matricial y gobierno digital, así como la participación social en políticas públicas, entre otros son ejemplos de ello (Martins, 2004).

En este sentido, Pochat (2002) destaca que es la cuenca hidrográfica como unidad del territorio, donde se bajan los lineamientos metodológicos necesarios para su implementación a partir de ese enfoque específico y de los elementos destacados para su éxito observados en experiencias concretas en el territorio.

### Aportes: Implementación de la nueva Ley de aguas

La gestión de cuencas en la provincia de Santa Fe cuenta con un marco jurídico en la ley 9830 y el Decreto 4960/86, poniendo el foco en los denominados Comités de Cuenca. No es el objeto de este trabajo analizar su estado de desarrollo, pero se puede puntualizar el déficit de atención del territorio, dos tercios y la antigüedad de una norma que cuenta con 30 años de su sanción, todo lo que se enmarca en un muy largo proceso de sanción de una Ley de aguas.

---

<sup>18</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

Precisamente, la ley provincial 13740, denominada Ley de aguas de Santa Fe, se sancionó en noviembre de 2017, lo que marca un fuerte desfasaje de tiempos con la mencionada norma que rige los destinos del territorio hoy en día. Tan es así que en la Ley de aguas se habla de las Organizaciones de Cuencas, pero no se menciona la ley 9830 en vigencia.

Como aspectos positivos se pueden mencionar que incorpora valores como accesibilidad, equidad, resiliencia, participación, que prevé la interacción con el desarrollo social pero no tanto con el económico, que considera al ciudadano como aportante de ideas y valores, pero no como protagonista en la toma de decisiones.

Por otro lado, caracteriza a las Organizaciones de Cuenca como Personas Jurídicas Públicas No Estatales pensadas para COLABORAR con las autoridades superiores, en la coordinación intersectorial e interdistrital, la participación y en el desarrollo de Programas y Proyectos. Allí se considera como actores a los USUARIOS en consorcios y cooperativas, Organismos Gubernamentales y gobiernos locales. Esto plantea interrogantes como los siguientes: ¿quiénes son los que afectan el sistema natural pero no son usuarios? Los agricultores que no riegan, pero afectan el escurrimiento, ¿son USUARIOS? ¿Los perjudicados por los excesos o déficits del sistema sin tener la más mínima injerencia deben estar también o no?

## Conclusiones y recomendaciones

Como se expresó, en general se espera que se consideren pautas metodológicas que faciliten la incorporación de los valores que la Ley de aguas define. En este sentido deberán plantearse normas claras tanto para las Organizaciones de Cuencas como para la gestión de proyectos de toda índole con implicancias ambientales (Dourojeanni *et al.*, 2002), de tal manera que facilite una real GESTIÓN INTEGRADA del recurso, en el siguiente sentido:

- **TRANSPARENCIA:** información suficiente y pertinente para que todos los actores participen en la formulación de las PP igualitariamente.
- **ESTADO:** presencia de todos los actores estatales vinculados y vinculantes, en los tres niveles, en todas las materias relacionadas y con el poder de policía en cada tema.
- **SOCIEDAD:** que involucre a todos los actores socioinstitucionales interesados e influyentes en el resultado de las acciones y políticas.

- **CONOCIMIENTO:** que permita recurrir en todas las instancias de las instituciones que cuentan con las capacidades para el estudio de los problemas y proyecto de las soluciones necesarias.
- **EFFECTIVIDAD DE POLÍTICAS:** el resultado del funcionamiento según sus pautas debe asegurar soluciones concretas, esfuerzos eficientes e integralidad de las soluciones.

Los resultados esperados de la aplicación de estos criterios deberían reflejarse en mejoras sustanciales en las políticas de todo tipo a implementar en el territorio, las que deberían darse a partir de diagnosticar certeramente cada problemática en base a la interacción genuina y productiva con los actores que sufren el problema, donde se puede blanquear restricciones de la gestión en términos de recursos escasos o normativa limitante, y consensuar líneas de trabajo, coordinar acciones y optimizar recursos a partir de su conocimiento y participación por parte de todos ellos (Poggiese, 1993). Finalmente se puede asegurar que esta modalidad de trabajo tiende a reducir conflictos, pasando a la cultura de objetivos conflictivos y controla grupos o individuos que solo intentan imponer privilegios, mantener viejos statu-quo o simplemente evitar la acción de gobierno.

Fortalecimiento institucional del sector de agua y saneamiento en la provincia de Santa Fe, Observatorio de Servicios Sanitarios (OSS)–UNL

*Luis Traba,*<sup>19</sup> *Pablo Serra,*<sup>19</sup> *Carlos G. Paoli,*<sup>19</sup> *Romina Capello,*<sup>19</sup>

*Sebastián Teitelman*<sup>19</sup> y *Mariana Vera*<sup>19</sup>

La introducción de la política de privatizaciones en el sector público generó una importante transformación en el sector de Agua Potable y Saneamiento, dando a luz en la provincia a un nuevo marco regulatorio a través de la ley 11220, creando un ente regulador específico al respecto, modificando las relaciones con el principal prestador provincial, pero también fijando criterios, obligaciones y derechos sobre el resto de los prestadores (ENRESS, 2012).

A casi 20 años de su puesta en marcha, las consecuencias de aquella política de Estado muestran como hecho sobresaliente que la realidad imaginada con el concesionamiento de las principales ciudades fracasa, fundamentalmente al retirarse el concesionario privado sin cumplir con los objetivos de calidad y cobertura que se previeron oportunamente. Al mismo tiempo, se advierte que las restantes prestaciones no involucradas en la concesión no lograron mejo-

---

<sup>19</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

ras tangibles, manteniéndose en términos generales, los déficits institucionales, de gestión, de financiamiento y de infraestructura, previos al marco regulatorio vigente (BID, 2012).

El resultado de esto es que la provincia de Santa Fe, como muchas otras jurisdicciones subnacionales, presenta una realidad asimétrica en cuanto a localidad de los Servicios Sanitarios, en particular a partir de lo relativo al desarrollo institucional de los prestadores. Es así que se observan déficits que impiden abordar las fuertes restricciones que deben enfrentar en cada uno de los contextos, tanto físicos como económicos, poco favorables para la prestación de estos servicios esenciales.

#### Aportes/resultados obtenidos

El esfuerzo del OSS entonces estuvo dirigido a las instituciones que conforman el Sistema de Servicios Sanitarios de la provincia de Santa Fe, en particular a los prestadores de pequeña y mediana envergadura, que asuman el desafío compartido de desarrollar sus organizaciones, a la luz de mejorar sus desempeños para contribuir con efectividad a la solución de las necesidades sociales de agua potable y alcantarillado sanitario (Santader, 2008).

El Observatorio debe ser visto entonces como una herramienta que contribuya al desarrollo sectorial provincial a partir del desarrollo institucional de las organizaciones, como estrategia conducente a mejorar sus desempeños y alcanzar objetivos largamente incumplidos.

Siguiendo los lineamientos de Rojas Ortuzo (2014), las principales falencias a revertir se pueden resumir en los siguientes tópicos:

- Déficit organizacional de su estructura de gestión.
- Insuficiencia estructural de sus economías de escala y avance.
- Déficit crónicos de cobertura y calidad de servicios.
- Insuficiencia e inconsistencia del régimen de tarifas.
- Ausencia de políticas regulatorias orientadas a la eficiencia.
- Ausencia de participación y control social de las prestaciones.
- Escasez de fondos específicos para el desarrollo de la infraestructura.

## Conclusiones y recomendaciones

Como se describió, el devenir de las políticas desarrolladas en el Sector del Saneamiento en nuestro país ha generado desde lo institucional un cuadro muy particular en la provincia de Santa Fe. Con un total de 363 localidades en su territorio, el abastecimiento de agua potable y los servicios de cloacas se brindan en 15 de ellas por parte de una gran empresa pública reestatizada y en el resto por parte de los prestadores pequeños y medianos, básicamente entidades Cooperativas de Servicios y gobiernos locales con fuertes restricciones en muchos casos que atentan contra su capacidad institucional (Santander, 2008). El sistema está regido por el ente regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS), el que debe controlar simultáneamente a una empresa estatal de 100 000 usuarios y a más de 300 prestadores, donde cada uno no pasa de entre 1000 y 5000 cuentas. El otro actor es la autoridad de aplicación de las políticas sectoriales, actualmente el Ministerio de Infraestructura y Transporte, a través de la Secretaría de Saneamiento, la que posee una infraestructura de gestión limitada y casi nula capacidad de financiamiento.

Desde lo ambiental, este panorama se complejiza en cuanto a la evaluación del recurso en sí, ya que se puede observar que en el mapa de la provincia distintas zonas donde la accesibilidad a fuentes de agua cruda de excelente calidad es sencilla, fundamentalmente al este en las cercanías del río Paraná, una zona intermedia de fuente subterránea, pero de calidad aceptable, en el sur y centro oeste, mientras que, en el centro, centro norte y noroeste el recurso es escaso y de mala calidad. En ese contexto se presta un servicio vital por parte de un importante número de entidades con fuertes limitaciones de gestión, tanto en términos de sus capacidades institucionales como de la influencia del sistema regulatorio y de las posibilidades de financiamiento de proyectos de crecimiento de las redes o de inversión en operación y mantenimiento (Lentini, 2011).

Mientras tanto, como política central desde el Estado provincial se encuentra el Plan Maestro de Acueductos, el que pretende entregar agua potable en cada localidad del territorio santafesino a manera de abastecimiento mayorista sin una completa evaluación ambiental y económico-institucional de sus efectos. Este problema tiene un doble horizonte, uno que se plantea en lo inmediato hasta tanto este plan se concrete y el otro a partir de allí cuando los prestadores se encuentren con una doble fuente de suministro y a costos distintos de los actuales. Tal lo plantea Jouravlev (2004), debería pensarse cómo apoyar la gestión de los prestadores que presenten déficits en lo institucional y/o no cuenten con asistencia técnico/profesional que reduzca sus efectos en

la efectividad de su desempeño, desde distintas dimensiones, desde la reforma del marco legal hasta las propias medidas de reforma de los servicios en pos de su mejor desempeño (Jouravlev, 2004).

Un proyecto importante en carpeta es el LABORATORIO DE MEDIDORES DE AGUA POTABLE que se tiene previsto instalar en la Ciudad Universitaria de la UNL. Dentro de las deseconomías propias del servicio de agua potable se encuentra el mal funcionamiento de los micromedidores domiciliarios por distintas razones —obsolescencia, desgaste y falta de reemplazo—, con más los sectores aún no medidos, entre los principales, generan errores de volúmenes de suministro y, consecuentemente, de facturación de los mismos. En este sentido, dado un interés de reducir este déficit en cuanto a la optimización del consumo y a la mejor y más justa facturación, el sector del Saneamiento en la provincia no cuenta con un laboratorio calibrador que ponga valores ciertos a esta cuestión y que apoye esta línea de trabajo hacia el futuro, según pautas delineadas por Ferro *et al.* (2011).

Otro aspecto que hace más a la prestación diaria del servicio es la falta de macromedición de la producción tanto del agua cruda de la fuente como de la ya tratada a la salida de la planta. Esto también contribuye a los errores de gestión por contar con deficiente información al respecto, hasta inexistente en muchos casos.

El OSS ha investigado casos similares en el país y se encuentra en condiciones de proponer y desarrollar la creación de un laboratorio de este tipo en las instalaciones del Departamento de Hidráulica de la FICH, básicamente a partir de la infraestructura disponible y del conocimiento de buena parte de la tecnología necesaria para ello.

### Referencias bibliográficas del capítulo 3

#### ¿Compartimos la vida con los plaguicidas?

- Demonte, L. D.; Michlig, N. (...) Repetti, M. R. (2018). Determination of glyphosate, AMPA and glufosinate in dairy farm water from Argentina using a simplified UHPLC–MS/MS method. *Science of the Total Environment*, 645, 34–43. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.340>
- Michlig, M. R.; Merke, J. (...) Repetti M. R. (2018). Determination of imidacloprid in bee-hive samples by UHPLC–MS/MS. *Microchemical Journal*, 143, 72–81. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2018.07.027>
- Michlig, N.; Hrbek, V. (...) Hajslova J. (2017) Pesticide residues and mycotoxins determination on feed samples: a first step to assure milk quality. *8th International Symposium on Recent Advances in Food Analysis*. November 7–10, 2017, Prague, Czech Republic. [www.fiq.unl.edu.ar/prinarc](http://www.fiq.unl.edu.ar/prinarc)
- Repetti, M. R.; Michlig, N. (...) Beldomenico, H. R. (2019). Wide–scope pesticide residues and contaminants in cereal–based infant formulas. *IUPAC Congress, Crop Protection Chemistry*. May 19–24, 2019. Ghent, Belgium. [www.fiq.unl.edu.ar/prinarc](http://www.fiq.unl.edu.ar/prinarc).

#### ¿Se puede disminuir el riesgo de exposición dietaria a plaguicidas?

- La Barba, V. A.; Pacheco, J. y Repetti, M. R. (2017) Efecto del procesamiento en el hogar sobre el contenido de residuos de plaguicidas en manzana y tomate. *IV Congreso Iberoamericano de Salud Ambiental para el Desarrollo Sustentable. XX Congreso Argentino de Toxicología*. Septiembre 20–22, 2017, Santa Fe, Argentina.
- Maggioni, D. A.; Signorini, M. L. (...) Beldomenico H. R. (2017). Comprehensive estimate of the theoretical maximum daily intake of pesticide residues for chronic dietary risk assessment in Argentina. *Journal of Environmental Science & Health B* 52:4, 256–266. <http://dx.doi.org/10.1080/03601234.2016.1272997>
- Maggioni, D. A.; Signorini, M.L.; Michlig, N.; Repetti, M. R.; Sigrist, M.E.; y Beldomenico H.R. (2018) National short–term dietary exposure assessment of a selected group of pesticides in Argentina. *Journal of Environmental Science&Health B* 53:10, 639–651. <https://doi.org/10.1080/03601234.2018.1474552>

## Arsénico y selenio en alimentos y aguas de la provincia de Santa Fe

- Brusa, L.; Schlotthauer, J. y Sigríst, M. (2019). Determination of inorganic arsenic in Argentinean rice by selective HGAAS: Evaluation of matrix effect interferences in paddy, brown and polish rice. [www.fiq.unl.edu.ar/prinarc](http://www.fiq.unl.edu.ar/prinarc)
- Sigríst, M.; Beldomenico, H. & Repetti, M. R. (2010). Evaluation of the influence of arsenical livestock drinking waters on total arsenic levels in cow's raw milk from Argentinean dairy farms. *Food Chemistry*, 121, 487–491. doi: 10.1016/j.foodchem.2009.12.069
- Sigríst, M.; Albertengo, A. (...) Tudino, M. (2013). Distribution of inorganic arsenic species in groundwater from Central–West Part of Santa Fe Province, Argentina. *Applied Geochemistry*, 39, 43–48. doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.018
- Sigríst, M.; Hilbe, N. (...) Beldomenico, H. (2016). Total arsenic in selected food samples from Argentina: Estimation of their contribution to inorganic arsenic dietary intake. *Food Chemistry*, 210, 96–101. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.04.072>
- Sigríst, M.; Brusa, L. (...) Beldomenico, H. R. (2012). Determination of selenium in selected food samples from Argentina and estimation of their contribution to the Se dietary intake. *Food Chemistry*, 134, 1932–1937. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.116>

## Desarrollo de metodologías electrobioanalíticas para la determinación de contaminantes ambientales

- Alcaraz, M. R.; Fabiano, S. N.; y Camara, M. S. (2013). Desarrollo de un biosensor amperométrico de tirosinasa para la determinación de contenido fenólico total en aguas superficiales, ante biosensores, *AUGMDOMUS*, 5, 47–59.
- Lermo, A.; Liebana, S. (...) Pividori, M. I. (2010). A novel strategy for screening–out raw milk contaminated with *Mycobacterium bovis* on dairy farms by double–tagging PCR and electrochemical genosensing. *International Microbiology*, 13, 91–97.
- Fabiano, S.; Tran–Minh, C. (...) Piro, B. (2002). Poly 3,4–ethylenedioxythiophene as an entrapment support for amperometric enzyme sensor, *Materials Science and Engineering C* 21:61–67.
- Vedrine, C.; Fabiano, S. & Tran–Minh, C. (2003). Amperometric tyrosinase based biosensor using an electrogenerated polythiophene film as an entrapment support, *Talanta*, 59:535–544.
- Pividori, M. I.; Lermo, A. (...) Alegret, S. (2007). Bioaffinity platforms based on carbon–polymer biocomposites for electrochemical biosensing, *Thin Solid Films*, 516, 284–292.
- Mancini, S. I.; Fabiano, S. N. y Hernández, S. R. (2005). Genosensor electroquímico para el análisis de aditivos alimentarios. En *XV Congreso Argentino de Bioingeniería*.
- Vermeris, W. & Nicholson, R. (2006). Phenolic compound biochemistry. Springer. Pearson, J.; Gill, A. & Vadgama, P. Analytical aspect of biosensors. *Ann. Clin. Biochem*, 37, 119–145.



## Contaminantes emergentes: métodos de *screening* para su detección y monitoreo

- Hernandez, S. R.; Kergaravat, S. V. y Pividori, M. I. (2013). Enzymatic electrochemical detection coupled to multivariate calibration for the determination of phenolic compounds in environmental samples. *Talanta*, 106, 399–407.
- Ibarra Bouzada, L.; Kergaravat, S.; y Hernández, S. (2016). Desarrollo y comparación de metodologías analíticas basadas en la inhibición de la actividad enzimática de la peroxidasa, destinadas a la detección de glifosato en muestras de agua. En *VI Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental de Argentina* (SETAC, Capitulo Argentino). Ciudad de Córdoba, Córdoba, Argentina.
- Kergaravat, S.; Althaus, R. y Hernandez, S. (2018a). Screening fluorescent method for the fluoroquinolone family in groundwater samples from intensive livestock production systems. *Int. J. Environ. An. Ch.* 98, 1063–1079.
- Kergaravat, S. V.; Gagneten, A. M. y Hernandez, S. R. (2018b). Development of an electrochemical method for the detection of quinolones: Application to cladoceran toxicity studies. *Microchem. J.*, 141, 279–286.
- Kergaravat, S. V.; Schlapbach, L. B. (...) Hernández, S. R. (2017) Desarrollo de un ensayo magneto inmunofluorescente competitivo indirecto para detectar quinolonas. En *III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*, La Capital, Santa Fe, Argentina.
- Mahdi-Ahmed, M. y Chiron, S. (2014). Ciprofloxacin oxidation by UV-C activated peroxymonosulfate in wastewater. *J. Hazard. Mater.*, 265, 41–46.
- Organización Mundial de la Salud (2004). Bentazone in drinking-water. Draftbackground document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality 2004. Geneva. [http://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/dwq/chemicals/bentazone.pdf](http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/chemicals/bentazone.pdf)
- Santos, L. H. L. M.; Araujo, A. N. (...) Montenegro, M. C. B. S. M. (2010). Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *J. Hazard. Mater.*, 175, 45–95.
- Sinclair, C. J. y Boxall, A. B. (2003). Assessing the ecotoxicity of pesticide transformation products. *Environmental Science and Technology*, 37, 4617–4625.
- Sousa, J. C. G.; Ribeiro, A. R. (...) Silva, A. M. T. (2018). A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. *J. Hazard. Mater.* 344: 146–162.
- Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación (2003).
- Schmuck, J. (2019) Detección fluorescente del herbicida bentazón en muestras ambientales (tesis inédita de grado). Licenciatura en Saneamiento Ambiental de la ESS, UNL. LSB, FBCB, UNL

## Control de la contaminación química y biológica del aire en ambientes confinados

- Martinez Retamar, M.; Passalia, C. (...) & Labas, M. (2018). Dose estimation methodology for the UV inactivation of bioaerosols in a Continuous-Flow reactor. *Aerosol Science and Technology*, (53), 8–20.
- Organización Mundial de la Salud (2016). Ambient air pollution: a global assessment of exposure and burden of disease. Ginebra, Suiza. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/250141/9789241511353-eng.pdf?seque>
- Passalia, C.; Alfano, O. (...) Brandi, R. (2011). Modeling and experimental verification of a corrugated plate photocatalytic reactor using CFD. *Industrial & Engineering Chemical Research*, (50), 9077–9086.
- Ministerio de Salud de la Nación (2016). Mortalidad por Enfermedades Respiratorias en Argentina. Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias «Emilio Coni». Administración Nacional de Laboratorios e Institutos de Salud (ANLIS), Dirección Nacional de Estadísticas e Información de Salud, Buenos Aires, República Argentina. <http://www.anlis.gov.ar/iner/wp-content/uploads/2016/04/Boletin-Mortalidad-por-enfermedades-Respiratorias-en-Argentina-2015.pdf>

## Elaboración de un índice de sostenibilidad (indicadores ecológicos, económicos y sociales) de sistemas acuáticos de la provincia de Santa Fe

- Andreotti, C. y Gagneten, A. M. (2006). Efectos ecotoxicológicos del sedimento del río Salado inferior (Argentina) en la sobrevivencia y reproducción de Moinamicrura (Crustacea, Cladocera). *Revista de Toxicología*, 23, 146–150.
- Ezcurra de Drago, I.; Marchese, M. & Montalto, L. (2007). Benthic invertebrates. En Iriondo, M.; Paggi J. C. y Parma, M. J. (Eds). *The Middle Paraná River: Limnology of Subtropical Wetland*. Springer Verlag, Heidelberg: 251–27.
- Gagneten, A. M.; Gervasio, S. & Paggi, J. C. (2007). Heavy metal pollution and eutrophication in the Lower Salado River Basin (Argentina). *Water, Air and Soil Pollution*, 178, 335–349.
- Gagneten, A. M. & Paggi, J. C. (2009). Effects of heavy metal contamination (Cr, Cu, Pb, Cd) and eutrophication on zooplankton in the lower basin of the Salado River (Argentina). *Water, Air and Soil Pollution*, 198, 317–334.
- Gagneten A. M. y Marchese M. (Comps.). Protocolos para biomonitoreos de ambientes acuáticos de la provincia de Santa Fe. Universidad Nacional del Litoral (en prensa).
- Marchese, M.; Rodriguez, A. R. (...) y Carignano, M. C. (2008). Benthic invertebrate structure in wetlands of a tributary of the Middle Paraná River affected by hydrologic and anthropogenic disturbances. *Journal Environment Biology*, 29(3), 343–348.
- Marchese, M.; Gagneten, A. M. (...) Poi, A. S. G. (2019). Aplicación de indicadores biológicos en el Nordeste Argentino. En *Indicadores biológicos, calidad biológica de agua, aplicaciones y perspectivas de uso*. Domínguez, A.; Giorgi, A. y Gomez, N. (Eds.) (...) (2015). Nutrient dynamics in wetlands of the Middle Paraná River subjected to rotational cattle management. *Wetlands*, 35, 1117–1125.

- Mesa, L.; Maldini, C. (...) Giri, F. (2016). Manure decomposition and macroinvertebrate colonization in a wetland of the Middle Paraná River. *Journal of Soil and Sediment*, 16 (9), 2316–2325.
- Regaldo, L.; Gutierrez, F. (...) Gagneten, A. M. (2018). Water and sediment quality assessment in the Colastine–Corralito stream system (Santa Fe, Argentina): impact of industry and agriculture on aquatic ecosystems, *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6951–6968.
- Tobke, J. L. y Gagneten, A. M. (2013). Concentración de metales pesados Cr, Cu y Pb en *Zilchiopsissp.* (Crustacea: Decapoda) para la comparación del grado de contaminación de sistemas acuáticos continentales (tesis inédita de grado). Licenciatura en Biodiversidad. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.
- Vaschetto, P; Regaldo, L. (...) Gagneten, A. M. (2017). Informe final pasantía externa en Municipalidad de Santa Fe: Biodiversidad de la Reserva Natural Urbana del Oeste (RNUO, Santa Fe): Caracterización del plancton y su relación con la calidad del agua.
- Zilli, F. L. y Gagneten, A. M. (2005). Efectos de la contaminación por metales pesados sobre la comunidad bentónica de la cuenca del Arroyo Cululú (Río Salado del Norte, Argentina). *Interciencia*, 30, (3) 159–165.
- Zilli F. L. & Montalto, L. (2011). Benthic invertebrates in the middle Paraná River floodplain (Argentina). En Álvarez M. A. (Ed.). *Floodplain. Nova Sciences Publishers, Inc.*, 99–126.

## El paisaje de la región centro norte de la provincia de Santa Fe, su respuesta frente a cambios climáticos ocurridos durante el último periodo geológico

- Brunetto, E.; Krohling, D. (...) Francisconi, M. C. (2017). Analysis of the interaction between neotectonic and surface processes in a low-land intracratonic setting of South America. *Quaternary International*, 438, 141–159.
- Iriondo, M. y Krohling, D. (2007). Geomorfología y Sedimentología de la Cuenca Superior del río Salado (sur de Santa Fe y NO de Bs. Aires; Argentina). *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis*, 14(1), 1–23.
- Iriondo, M. (2010). *Geología del Cuaternario en la Argentina*. Santa Fe: Museo Provincial de Ciencias Naturales Florentino Ameghino.
- Krohling, D. e Iriondo, M. (2003). El Loess de la Pampa Norte en el Bloque de San Guillermo. *Revista de la Asociación Argentina de Sedimentología*, 10(2), 57–70.
- Krohling, D. y Brunetto, E. (2013). Marco geológico y geomorfología de la cuenca del Arroyo Cululú. En *Bases para el ordenamiento del territorio en el medio rural y Región Centro, Argentina. Parte 3-Territorio Santafesino* (485–512). Editorial de la Universidad Nacional de Río Cuarto.
- Thalmeier, M. B.; Krohling, D. y Brunetto, E. (2021). The geomorphology and the Late Quaternary sedimentary record of the Salado/Juramento fluvial megafan of the Central Andes foreland basin (Chaco plain, Argentina). *Geomorphology*, 373, 107495, 23.

## Tipología de cauces secundarios del río Paraná en Santa Fe

- Alberdi, R.; Ramonell, C. G. y Pereira M. S. (2018). El tramo medio del río Paraná: sus límites, extensión y variabilidad hidrográfica. *Revista del Instituto Geográfico Nacional*, (9), 4–9. Buenos Aires.
- Alberdi, R. y Ramonell, C. G. (2013). Evaluación de cambios morfométricos recientes en cauces menores del Río Paraná Medio. *Sexto Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos*, Memorias (CD). Santa Fe.
- Bosisio, A.; y Ramonell, C.G. (2014). Análisis por teledetección de la distribución espacial de la carga de lavado en un tramo del Río Paraná Medio (Argentina). En *2do. Congreso Internacional De Hidrología de Llanuras* (CD). Santa Fe.
- Castro, S. L.; Cafaro, E. D. (...) Amsler, M. L. (2007). Evolución morfológica histórica del cauce del Río Paraná en torno a Rosario (km 456–406). En *XXI Congreso Nacional del Agua* (CD). Tucumán.
- Cristina, I. y Ramonell, C. G. (2018). Traslación de ondas de crecida pre–1970 vs. post–1990 en el tramo medio del Río Paraná. En *XXVIII Cong. Latinoam. de Hidráulica*, Buenos Aires.
- Marchetti, Z. Y. y Ramonell, C. G. (2014). Valoración preliminar de la retención de sedimentos por hidrofitas en cauces secundarios del Río Paraná Medio. *Revista Aqua–LAC*, 6(1), 8–16. PHI–Unesco.
- Marchetti, Z. Y.; Minotti, P. G. (...) Kandus, P. (2016). NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the Middle Paraná River floodplain. *Geomorphology*, 253, 146–158.
- Minotti, P.; Ramonell, C. G. y Kandus, P. (2013). Regionalización del corredor fluvial Paraná–Paraguay. En Benzaquen, L. y otros (Eds.). *Inventario de los humedales de Argentina. Sistemas de Paisajes de Humedales del Corredor Fluvial Paraná–Paraguay* (pp. 33–90). Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Buenos Aires.
- Pereira, M. S. (2016). El Río Paraná: geomorfología y morfodinámica de barras e islas en un gran río anabranching (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional de La Plata.
- Ramonell, C. G. y Amsler, M. L. (2005). Avulsión y rectificación de meandros en planicies de bajo gradiente: consideraciones para su predicción. *Revista Ingeniería del Agua*, 12(3), 231–248.
- Ramonell, C. G. y Cristina, I. (2014). Geomorfología y propagación de crecidas en el tramo medio del Río Paraná, Argentina. En *2do. Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras* (CD). Santa Fe.
- Ramonell, C. G. y Latrubesse, E. M. (2010). Late Quaternary sedimentary record and morphodynamics of the Middle Paraná River. En *18th International Sedimentology Congress.*; Abstracts: 736. Mendoza.
- Ramonell, C. G.; Amsler, M. L. y Toniolo, H. (2000). Geomorfología del cauce principal. En Paoli, C. y Schreider, M. (Eds.). *El Río Paraná en su tramo medio. Una contribución al conocimiento y prácticas ingenieriles en un gran río de llanura* (pp. 173–232). Tomo 1, cap. 4. Centro de Publicaciones de la Universidad Nacional del Litoral.
- Ramonell, C. G.; Marchetti, Z. Y. y Pereira M. S. (2013). Within–channel levees: a new–recognized fluvial form in the floodplain of a large river (Paraná River, South America). *8th IAG International Conference on Geomorphology*, Abstracts, 740.
- Ramonell, C. G.; Domínguez R. L. (...) Gallego, M. (2017). Geometría hidráulica del sistema fluvial del Río Paraná en el área de Santa Fe – Paraná: una evaluación exploratoria. En *VIII Simposio Regional sobre Hidráulica de Ríos, Ríos 2017* (CD) .

## Probabilidad de la saturación del perfil del suelo en función del concepto de áreas fuentes variables en zonas de llanura

- Fuschini Mejía, M. C. (1994). *El agua en las llanuras*. UNESCO/ORCYT.
- Mastaglia M.; Pusineri, G. (...) Pilatti, A. (2015). Metodología para la delimitación de las áreas de riesgo hídrico en la provincia de Santa Fe. *Revista de Geología Aplicada a la Ingeniería y al Ambiente* (23).
- Sallies, A. R. (1999). Clima e inundaciones en la Pampa Deprimida. Floodplain Management Association – 17th Semiannual Conference, Sept–Oct 1999. Sacramento, California, USA.
- Scioli, C.; Pedraza, R. (...) Zimmermann, E. (2013). Identificación y evaluación de Áreas Fuente Variables en Sistemas Hidrológicos de Llanura. En *XXIV Congreso Nacional del Agua*. Organizado por el Comité Permanente de los Congresos Nacionales del Agua.
- Scioli, C. (2016). *Un nuevo índice de similitud hidrológica para la simulación precipitación–escorrentía en sistemas de llanura* (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional del Litoral.

## Las de áreas de dominio fluvial como definición alternativa de líneas de ribera en ríos y arroyos de la provincia de Santa Fe

- Alberdi, R. y Erba, D. A. (2018a). Parcela 4D y Catastro en Argentina. *Revista de Topografía Azimut* (9), 46–52.
- Alberdi, R. & Erba, D. A. (2018b). Modeling Legal Land Objects for water bodies in the context of n-dimensional cadastre. *Proceedings of the 6th International FIG Workshop on 3D Cadastres* (pp. 573–584). Delft.
- Alberdi, R. y Ramonell, C. G. (2018). Definiciones de Líneas de Ribera Funcionales en Sistemas Fluviales Santafesinos. En Bouza, P; Veiga, G. (...) Bolmes, A. (Eds.). *Naturalía Patagónica*, Vol. 10. Libro de resúmenes del Séptimo Congreso Argentino de Cuaternario y Geomorfología, 151–152.
- Bosisio, A.; Ramonell, C. y Graciani, S. (2015). Análisis de variables ambientales con técnicas SIG aplicadas a la ordenación y gestión de planicies de inundación de sistemas fluviales regulados. En De la Riva, J.; Ibarra, P (...) Rodrigues, M. (Eds.). *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (pp. 1553–1562). Universidad de Zaragoza–AGE.
- Marchetti, Z. Y.; Minotti, P. G. (...) Kandus, P (2016). NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain. *Geomorphology*, 253, 146–158.
- Ramonell, C. G. y Amsler, M. L. (2002). Guía de procedimientos metodológicos para estudios morfológicos de cauces fluviales argentinos. En *XIX Congreso Nacional del Agua*, (CD). Córdoba.
- Ramonell, C. G. y Amsler, M. L. (2005). Avulsión y rectificación de meandros en planicies de bajo gradiente: consideraciones para su predicción. *Revista Ingeniería del Agua*, 12(3), 1–18.

- Ramonell, C. G. y Alberdi, R. (2019). Presentación de resultados generales y conclusiones/recomendaciones. Informe final de proyecto 2010–024–16, convocatoria investigación orientada 2016. ASaCTel. Gobierno de la Provincia de Santa Fe.
- Ramonell, C. G.; Cafaro, E. D. (...) Del Rey Rodríguez, M. (2010). Consideraciones metodológicas para la zonificación morfodinámica de los ríos de Argentina. Primeros resultados. En *XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica* (CD). Punta del Este.

## Procedimientos de gestión del desarrollo sustentable en áreas inundables con gobernabilidad difusa

- Checkland, P. (1993). *Pensamiento de sistemas, práctica de sistemas*. Grupo Noriega Editores.
- Dourojeanni, A. (1993). *Procedimientos de gestión para el desarrollo sustentable (aplicados a municipios, microrregiones y cuencas)*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).
- Herrera, A. O.; Scolnick, H. (...) Talavera, L. (2004). *¿Catástrofe o nueva sociedad? Modelo Mundial Latinoamericano*. Fundación Bariloche y Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. 1974/2004.
- Max–Neff, M.; Elizalde, M.; y Hopenhayn, M. (1986). *Desarrollo a escala humana, una opción para el futuro*. Cepaur. Fundación Dag Hammarskjöld. Ed. Nordan, Comunidad.
- Comisión Mundial del Medio Ambiente y el Desarrollo/Naciones Unidas (UN) (1987). *Nuestro Futuro Común*. Alianza.
- Meadows, D. H.; Meadows, D. L. (...) Behrens, W. (1972). *Los límites del crecimiento*: inf. al Club de Roma (CR) s/ el predicamento de la Humanidad. CR. 72.
- Mihura, E. R. (2018). Procedimientos de Gestión del Desarrollo Sustentable en Áreas Inundables con Gobernabilidad Difusa. En *I Congreso Argentino de Desarrollo Territorial*. Villa María, Córdoba.
- Mihura, E. R. (2010). *Reflexiones y aportes para la sustentabilidad de procesos de gestión alternativa de la Educación Superior: estrategias para una Educación para el Desarrollo Sustentable (DS)* (tesis inédita de maestría). Universidad Nacional de Lanús.
- Mihura E. R. (1991). Proyecto final. Curso de Posgrado en Formación Ambiental. Facultad Latinoamericana de Ciencias Ambientales. Auspicio UNESCO.
- Pesci, R.; Perez, J. y Pesci, L. (2007). *Proyectar la sustentabilidad 2: Enfoque y metodología de FLACAM*. Editorial Cepa.
- Odum H. T.; Odum E. C. & Declinio Prospero, O. (2012). Principios e políticas. Enrique Ortega. Petropolis R. J. *Vozes. Gobernanza del agua: teoría y práctica de la gestión integrada de cuencas. La nueva Ley de aguas*.

## Gobernanza del agua: teoría y práctica de la gestión integrada de cuencas. La nueva Ley de aguas

- Dourojeanni, A.; Jouralev, A. y Chávez, G. (2002). *Gestión del agua a nivel de cuencas: teoría y práctica*. CEPAL.
- García Delgado, D. y De Piero, S. (2001). *Articulación y relación Estado–Organizaciones de la Sociedad Civil–Modelos y prácticas en la Argentina de las reformas de segunda generación*. FLACSO–CNOOC.
- Global Water Partnership (GWP9) (2013). *Aumentar la Seguridad Hídrica, un imperativo para el desarrollo*. Documento de Perspectiva.
- Martins, H. (2004). Introducción al Gobierno Matricial, el problema de la fragmentación. En *IX Congreso Internacional del CLAD sobre la Reforma del Estado y de la Administración Pública*, Madrid, España, 2–5 nov.
- Pochat, V. (2002). *Entidades de gestión del agua a nivel de cuencas: la experiencia de Argentina*. CEPAL.
- Poggiuese, H. (1993). *Metodología Flacso de Planificación–Gestión*, FLACSO. Serie documentos e informes de investigación (163), Área Planificación y Gestión.

## Fortalecimiento institucional del sector de agua y saneamiento en la provincia de Santa Fe, Observatorio de Servicios Sanitarios (OSS)–UNL

- Banco Interamericano de Desarrollo (2012). *Evaluación de la Política de Servicios Públicos Domiciliarios (PSPD, OP–708) para los servicios de agua potable y saneamiento*. Oficina de Evaluación y Supervisión, OVE–BID.
- Ente Regulador de Servicios Sanitarios (ENRESS) (2012). *Estado de situación del servicio de agua potable en la provincia de Santa Fe*, Gerencia de Control de Calidad, provincia de Santa Fe.
- Ferro, G.; Lentini, E. y Romero, C. A. (2011). *Eficiencia y su medición en prestadores de servicios de agua potable y alcantarillado*. Colección de Documentos de Proyectos, CEPAL–GIZ.
- Jouravlev, A. (2004). *Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI*. División de Recursos Naturales e Infraestructura (DRNI), CEPAL.
- Lentini, E. (2011). *Servicios de agua potable y saneamiento: lecciones de experiencias relevantes*. División de Recursos Naturales e Infraestructura, CEPAL.
- Rojas Ortuste, F. (2014). *Políticas e institucionalidad en materia de agua potable y saneamiento en América Latina y el Caribe*. LC/L.3822. Serie Recursos Naturales e Infraestructura (166), CEPAL.
- Santander, J. (2008). El modelo cooperativo en la provisión de servicios de agua potable y saneamiento. En *I Foro Interamericano, Servicios de Agua y Saneamiento*, Santiago, Chile.

## Capítulo 4. El agua como recurso. Disponibilidad y monitoreo

### Introducción

*Leticia Rodríguez*<sup>1</sup>

En el siglo XVIII, un poeta inglés narró las andanzas y penurias de un marino cuando su barco fue azotado por tormentas y empujado a sitios remotos. Sin viento que lo movilice, en la inmensidad del mar, la sed lo angustia y en su desesperación exclama: «agua, agua por doquier y ni una gota para beber». Esta frase posiblemente varias veces escuchada, es cierta. En el planeta Tierra, el agua está presente (casi) en todas partes: sobre la Tierra en el aire y las nubes, en la superficie de la Tierra en ríos, océanos, hielo, plantas y organismos vivos, y dentro de la Tierra, en una capa de pocos cientos de metros en suelos, acuíferos y otras formaciones geológicas. Estos almacenamientos de agua se vinculan entre sí a través del movimiento perpetuo de la misma dentro del llamado ciclo hidrológico. En otras palabras, el ciclo hidrológico representa la dinámica global del recurso agua, es decir, la manera en la cual esta circula en la biósfera.

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha estimado que el volumen total de agua en el planeta es de aproximadamente 1373 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales el 97,5 % es salada. Del agua dulce restante, el 68,7 % se encuentra almacenada en glaciares y casquetes polares, el 30,1 % en reservorios subterráneos, y solo el 0,27 % en lagos de agua dulce y ríos. A pesar de esta cifra tan poco significativa, esta última constituye una de las fuentes de agua más importante para la población mundial.

Respecto a la disponibilidad de recursos hídricos en comparación a su población, América Latina ocupa un lugar de privilegio. El continente concentra el 26 % del total mundial de los recursos superficiales de agua dulce y solo el 8,5 % de la población global. De igual manera, cuenta con significativas reservas de agua subterránea. No obstante, la distribución geográfica de todos estos recursos no es espacialmente homogénea, y su vulnerabilidad aumenta progresivamente por efectos del cambio climático (CC) y el aumento de la población. Según la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), posiblemente el principal canal de transmisión de los impactos del CC sobre

---

1 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.



las actividades económicas y humanas es a través de la disponibilidad de los recursos hídricos.

En términos globales, Argentina dispone de una oferta hídrica media anual por habitante muy importante superior a los 22 500 m<sup>3</sup>/hab. Sin embargo, la distribución de la oferta es muy irregular. La variedad de climas que resultan de la gran extensión y ubicación del territorio nacional, la diversidad de relieves y las consecuentes variaciones de humedad y temperatura determinan regímenes hídricos muy variados. Dos tercios de la superficie del país se encuentran bajo condiciones climáticas áridas o semiáridas. Se distingue una variación estacional muy pronunciada, una elevada variabilidad interanual, en muchos casos incrementada por los fenómenos climáticos globales como el de la Corriente del Niño, que provocan problemas de sequías e inundaciones recurrentes según las regiones y provincias.

La provincia de Santa Fe forma parte de la Cuenca del Plata, que concentra más del 85 % del derrame total medido a nivel país (CEPAL, 2000). A pesar de esta relativa abundancia de recursos hídricos superficiales, el territorio de la provincia muestra diferencias significativas en cuanto al acceso al recurso hídrico en cantidad y calidad necesarias para el desarrollo socioproductivo de sus diferentes regiones. Un gran número de poblaciones santafesinas ubicadas lejos de los principales ríos, tienen como única fuente de abastecimiento para uso humano y productivo el agua subterránea, cuya elevada salinidad y presencia de arsénico en vastos sectores pone en riesgo la producción y la salud humana.

Al igual que ocurre a nivel país, en la provincia existe una amenaza creciente a la sostenibilidad de las fuentes de agua, superficiales y subterráneas como consecuencia de varios factores: prácticas agrícolas no sustentables, deforestación, uso de agroquímicos, cambios en el uso del suelo, y el avance de la urbanización. Se afectan tanto la distribución de agua en los diferentes almacenamientos del ciclo hidrológico como así también la calidad fisicoquímica y biológica de las fuentes de agua.

Desde hace muchos años, en la Universidad se han consolidado grupos de investigación que monitorean, estudian y cuantifican diferentes componentes del ciclo hidrológico en el ámbito provincial y su entorno, actuando a diferentes escalas espaciales y temporales.

Hoy en día abundan las referencias al cc, a veces confundiendo su definición y alcance con la denominada variabilidad climática. En este sentido se ha estudiado la variabilidad de la temperatura y de la precipitación, observadas desde mediados del siglo pasado en la provincia, a fin de identificar los cambios en la frecuencia de eventos extremos. De igual manera que se ana-

lizan tendencias históricas, y debido a que los seres humanos contribuyen al calentamiento global de reconocidas consecuencias para los sistemas naturales y humanos, es de gran importancia estimar los futuros cambios climáticos que pueden experimentar el país y la región en los próximos 100 años. Los mismos grupos de investigación evalúan escenarios climáticos relacionados a diferentes emisiones de gases con efecto invernadero.

La deforestación y el cambio del uso del suelo afectan fuertemente la distribución de las componentes del balance hídrico, y con ello la regulación del clima. A través de modelos climáticos regionales e índices se han investigado las consecuencias de diferentes coberturas de la superficie sobre la humedad del suelo y el escurrimiento de agua superficial.

La evapotranspiración es la pérdida de agua de una superficie por evaporación directa más la pérdida de agua por transpiración de la vegetación. Junto a la humedad del suelo, constituye una variable fundamental en aplicaciones agronómicas, hidrológicas y ambientales. Más que su magnitud a escala puntual, se requiere conocer su distribución espacial en regiones más o menos extensas. La disponibilidad de información satelital que cubre grandes extensiones, con una frecuencia temporal adecuada, ha contribuido enormemente a la mejora en la cuantificación de ambas variables. En esta casa de estudios se aplican modelos para estimar la evapotranspiración utilizando información de diferentes variables y sensores a bordo de satélites de modo de reducir los errores de la cuantificación. De igual manera, se aplican modelos más o menos complejos para estimar la humedad de suelo en base a información satelital provista por una nueva generación de satélites del tipo del recientemente puesto en órbita por la Comisión Nacional de Investigaciones Espaciales de Argentina (CONAE).

Las estimaciones de variables hidrológicas que se realicen a partir de imágenes remotamente sensadas indefectiblemente deben ser contrastadas utilizando información puntual medida en tierra. Los sistemas de alerta temprana de crecidas, entre otras aplicaciones, también requieren disponer de mediciones puntuales en sitios estratégicos. Dado el elevado costo y la dependencia tecnológica en la adquisición de instrumentos comerciales, desde hace años en la UNL se trabaja en el desarrollo de equipos de medición de variables hidroambientales de bajo costo, usando software libre, para ampliar las posibilidades de monitoreo de las mismas y su transmisión desde lugares distantes a nodos de recepción de información.

Por otra parte, la provincia de Santa Fe posee varias cuencas superficiales compartidas con provincias vecinas, y en muchos casos, se ubica aguas abajo en la dirección del escurrimiento del agua. Esta situación la coloca en una

posición de mayor vulnerabilidad; el uso, manejo y gestión del recurso hídrico y del suelo que realicen las provincias de aguas arriba puede tener efectos en Santa Fe afectando la calidad de las aguas, y la magnitud de las crecidas, entre otros. Por ello se realizan estudios a escalas espaciales de miles de kilómetros cuadrados en sectores del norte de la provincia a fin de monitorear la composición química de las aguas subterráneas/superficiales en el espacio y en profundidad, determinar las direcciones de escurrimiento e identificar las variaciones espaciales del paisaje. Esta caracterización contribuye a contar con información esencial para la gestión y uso del recurso hídrico.

Como se mencionó anteriormente, en zonas alejadas de fuentes de agua superficial y en algunos entornos urbanos, el agua subterránea es la única fuente para satisfacer la demanda de la población. La contaminación antrópica como así también la sobreexplotación del acuífero coloca a estos sitios en una situación vulnerable en relación con abastecimiento de agua. Por lo tanto, es importante realizar un monitoreo continuo de los niveles de agua subterránea y delinear estrategias de protección y explotación del recurso subterráneo de modo de garantizar la sostenibilidad de su explotación, temas en los que la UNL lleva algunos años investigando.

La contaminación de las aguas subterráneas afecta no solo a entornos urbanos sino también a entornos rurales, en este caso asociada a actividades agropecuarias. En definitiva, esas aguas subterráneas descargarán en los cursos de agua superficial con los cuales estén en contacto. A lo largo de algunos ríos y arroyos se desarrollan zonas de ribera ricas en vegetación típica de humedales, que se ha demostrado, poseen una capacidad de depuración de las aguas subterráneas antes de que las mismas sean descargadas en los ríos, contribuyendo así a disminuir los efectos de la contaminación. Grupos de investigación de esta casa de estudios hace años monitorean la calidad del agua subterránea y superficial en una de estas zonas de modo de identificar los procesos biogeoquímicos transformadores de la calidad del agua.

Por último, la planificación y gestión del recurso hídrico requiere de la evaluación de las disponibilidades de agua superficial y subterránea en una determinada subcuenca o sitio de aprovechamiento. En este sentido, investigaciones llevadas a cabo en la UNL se han abocado al desarrollo de modelos de balance hídrico aplicados a toda la Cuenca del Plata, a fin de que se conviertan en herramienta de monitoreo para los posibles cambios hidrológicos que se puedan presentar y de gestión de la disponibilidad y usos del agua, puesto que incorporan la variabilidad de los componentes del ciclo hidrológico.

## **Variabilidad y cambio climático en la provincia de Santa Fe: observaciones y proyecciones futuras**

*Miguel A. Lovino<sup>2</sup> y Gabriela V. Müller<sup>2</sup>*

El clima de la provincia de Santa Fe varía en escalas de tiempo interanuales a multidecadales. Estas variaciones, cuyas consecuencias se reconocen con el nombre de variabilidad climática, están condicionadas por diferentes forzantes naturales, así como otros denominados antrópicos que también tienen impacto en el clima. La persistencia por largos períodos de tiempo de la acción de los forzantes tanto naturales como antrópicos puede provocar variaciones en el clima que, en caso de mantenerse por periodos prolongados, pueden dar lugar a un cambio climático.

### Variabilidad y cambio climático histórico

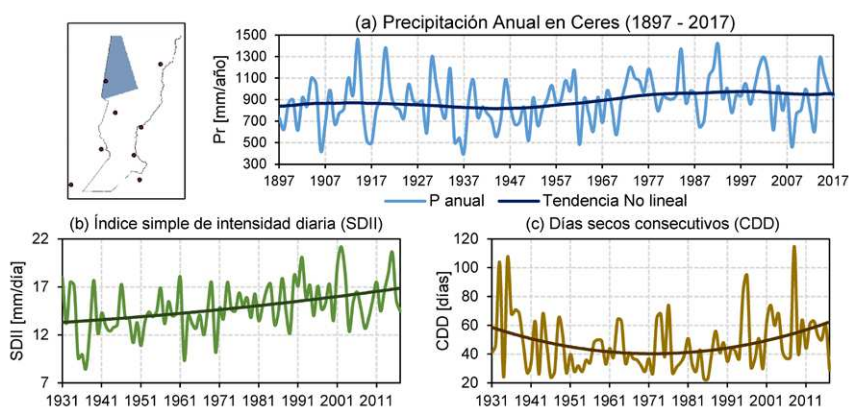
En el sudeste de Sudamérica se observó un importante cambio climático a partir de mediados del siglo xx (Lovino *et al.*, 2018a). En particular para la provincia de Santa Fe, la temperatura media anual se incrementó 1 °C desde 1970 a la actualidad. El aumento más notorio se dio en la temperatura mínima (2 °C), mientras que la temperatura máxima también aumentó, pero en menor magnitud (0,5 °C). Estos incrementos se concentraron en primavera y verano, ya que el otoño y el invierno no manifiestan tendencias significativas. En cuanto a la precipitación anual, se observó un sostenido incremento a partir de principios del siglo xx, pasando de valores medios de 950 mm hasta el año 1960, a valores medios de 1050 mm entre 1970 y 2017, lo que significa un aumento del 10 % en la precipitación media de esos períodos. La estación que muestra los mayores cambios es el verano, con aumentos superiores a 100 mm, mientras que en invierno se aprecia una leve disminución de la precipitación en los últimos años.

Los extremos climáticos de temperatura mostraron una notable y significativa tendencia hacia condiciones más cálidas (Lovino *et al.*, 2018b). Hubo un marcado aumento en la frecuencia de ocurrencia de días y noches cálidas y una significativa disminución de días y noches frías, con una disminución notoria de los eventos de heladas. Consistentemente, aumentaron la duración e intensidad de las olas de calor y disminuyeron la duración e intensidad de las olas de frío. Por otra parte, se observó un aumento en la frecuencia

---

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

y magnitud de los eventos de lluvias intensas en toda la provincia (Lovino *et al.*, 2020). En las regiones norte y centro, la precipitación anual aumentó el 15 % desde la década de 1960 en comparación con la primera mitad del siglo XX, aunque las tendencias crecientes parecen haberse estabilizado a partir de 1990 (ver Figura 4.1.1a). También se incrementaron las tormentas de gran intensidad concentradas en periodos cortos a partir de las últimas décadas, superando muchas de ellas los 150 mm diarios. A partir de 1970 se registraron eventos con más de 200 mm con mayor frecuencia. Estos eventos extremos muestran también una gran variabilidad interanual, intercalándose a esos máximos años con escasa precipitación. El índice simple de intensidad diaria (SDII, por su sigla en inglés), definido como el cociente entre la lluvia anual y los días con precipitación, también presentó una tendencia claramente positiva (Figura 4.1.1b). En contraposición, la ocurrencia de días secos consecutivos ha aumentado en las últimas décadas de manera significativa en el norte de la provincia (Figura 4.4.1c) y con menor significancia en el centro. En las regiones centro sur y sur se registró un aumento de la precipitación anual, y las lluvias intensas mostraron tendencias crecientes hasta la actualidad. De continuar estas tendencias podrían provocar en los próximos años un incremento aun mayor de lluvias intensas de gran magnitud, dando lugar a excesos hídricos frecuentes en toda la provincia. Además, se producirían déficits estacionales con mayor frecuencia, principalmente en el norte.



**Figura 4.1.1.** Series temporales en Ceres de (a) Precipitación anual (1897–2017) y de extremos de precipitación (1931–2017): (b) índice simple de intensidad (SDII) y (c) días secos consecutivos (CDD). Se resaltan las tendencias no lineales que indican los cambios de largo período en cada serie.

## Escenarios climáticos futuros

El clima futuro en la provincia se evaluó a partir de escenarios climáticos basados en un subconjunto de modelos de circulación general que representan de manera adecuada el clima regional (Lovino *et al.*, 2018c). Los escenarios de precipitación y temperatura media se estimaron en los períodos temporales de corto (hasta 2035), mediano (hasta 2060) y largo (hasta 2100) plazo. Para ello se consideraron las proyecciones en tres escenarios de trayectorias de concentración representativa (RCP, según su sigla en inglés) de gases de efecto invernadero, que se caracterizan por el cálculo aproximado del forzamiento radiativo total para el año 2100 en relación con 1750. Los escenarios utilizados fueron mitigación (RCP2.6), estabilización (RCP4.5) y altas emisiones (RCP8.5). Las proyecciones del promedio del subconjunto de los mejores modelos mostraron que la temperatura seguirá aumentando en la provincia. En el escenario de mitigación, el incremento podría ser menor a 1 °C, tanto para el corto plazo como para el mediano y largo plazo. El escenario de estabilización proyecta un incremento del orden de 0,6 °C para 2035, de aproximadamente 1,5 °C para 2065 y entre 1,5 y 2 °C para 2100. En el escenario de altas emisiones, se espera un incremento de 1 °C hasta 2035, 2 °C hasta 2065 y de hasta 3 – 3,5 °C a fines del siglo XXI.

La precipitación proyectada por los mismos modelos seleccionados para temperatura, no muestra cambios tan consistentes como en el caso de la temperatura. En el escenario de mitigación, la precipitación no presentó grandes variaciones. Se espera un incremento de entre 20–30 mm para el corto plazo y entre 20–60 mm en el mediano y largo plazo, lo que supone un aumento de entre 2 y 6 % en la precipitación anual. El escenario de estabilización proyectó un aumento entre 40 y 90 mm en el mediano plazo. En el escenario de altas emisiones, se esperan los incrementos más significativos que van desde 40 a 140 mm hasta 2065 y de entre 80 y 160 a fines de siglo XXI en el sur provincial. Este último incremento, en el escenario más desfavorable, supone un aumento de entre 8 y 16 % de la precipitación media anual.

## Recomendaciones

Es evidente que la variabilidad climática, sumada al cambio climático observado y el proyectado, demandan la adaptación a las nuevas condiciones climáticas. Las medidas de adaptación deben ser implementadas en todos los órdenes para garantizar el desarrollo sostenible mediante el compromiso individual y colectivo.

Si bien se ha avanzado en términos de instituciones ambientales y legislación, aún se debe trabajar eficazmente en las políticas públicas pertinentes. Según la CEPAL, uno de los principales desafíos de la agenda climática en el sector agropecuario y forestal será lograr la articulación entre las políticas climáticas y las políticas de desarrollo, ordenamiento territorial y sectoriales.

### **Identificación de eventos extremos y su incidencia en subsistemas acoplados zona no saturada–acuífero libre mediante la construcción de índices estandarizados**

*María del Valle Venencio,<sup>3</sup> Leandro C. Sgroi<sup>3</sup> y Miguel Lovino<sup>3</sup>*

Los eventos extremos tienen la particularidad de ser uno de los desastres naturales que afectan a mayor cantidad de personas y que producen importantes pérdidas económicas en una sociedad. Son difíciles de detectar en su inicio, y una vez detectados sobre una región es debido a que sus efectos ya son visibles. La agricultura y la ganadería son los sectores que primeramente se ven afectados. La prevención de los eventos extremos es una tarea compleja, no obstante, un enfoque apropiado para detectar su comienzo consiste en tener un mejor entendimiento de las condiciones que le dan inicio. Lograr acrecentar el conocimiento de los mismos mejoraría los sistemas de alerta temprana.

En los últimos años el centro norte de la provincia de Santa Fe fue afectado por eventos hidrológicos extremos, los húmedos provocaron anegamientos prolongados con saturación del suelo y ascensos de los niveles freáticos impactando gravemente la estructura productiva y urbana (Venencio y Villordo, 2011). Por otro lado, las sequías afectaron principalmente el sector agrícola, disminuyendo su productividad (Sgroi *et al.*, 2021), y han impactado en la recarga del acuífero libre (Venencio, 2007).

#### Índices estandarizados

Los eventos extremos han aumentado en frecuencia e intensidad (Lovino *et al.*, 2018a) y su monitoreo debe considerar el estado de la precipitación y de los distintos niveles que puedan almacenar agua en superficie. La evolución de las condiciones climáticas y de superficie se puede establecer mediante la implementación de un monitoreo de estas variables a través de indicadores estandarizados (Sgroi, 2017). Para ello, se construyeron índices estandarizados

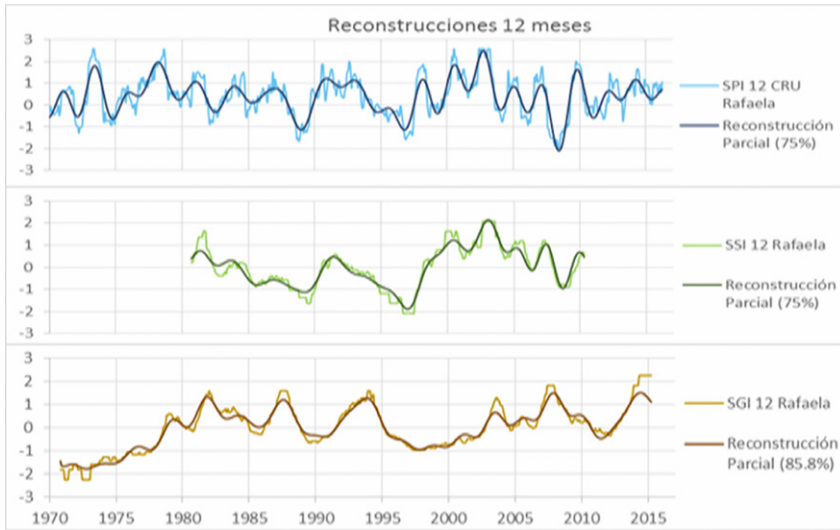
---

<sup>3</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

no paramétricos (Hao *et al.*, 2014) y se generaron indicadores de precipitación (*standard precipitation index*, SPI), de humedad del suelo (*standard soil moisture index*, SSI), y de niveles freáticos (*standard groundwater level index*, SGI). A través de estos índices, se cuantifican los déficits/excesos hídricos, su impacto en la zona no saturada y saturada, como así también sus interrelaciones.

Los resultados de estos indicadores varían entre -3 y +3, los valores negativos refieren a magnitudes menores al valor medio y condiciones secas, mientras que valores positivos refieren a excesos hídricos; cuanto mayor sea la magnitud del índice, más extremo resulta el evento. La Figura 4.2.1 muestra una alta interrelación de los eventos extremos de precipitación, humedad del suelo y nivel freático en Rafaela en escala de tiempo de 12 meses. La variabilidad se concentra en dos bandas: una «casi-decadal» variando de ocho a 16 años, donde los eventos extremos de precipitación oscilan con periodos de nueve años, la humedad del suelo con periodos de aproximadamente diez años y el nivel freático con un importante ciclo de 17 años que representa cerca de 50 % de variabilidad de la serie; y otra entre 6–2 años, asociada al fenómeno El Niño donde el SPI y SSI muestran frecuencias similares. También se observa una tendencia importante en los eventos de precipitación que indican las condiciones más húmedas desde 1970, periodo de inicio del cambio climático (Lovino *et al.*, 2014; Lovino *et al.*, 2018b), manifestada en el incremento notorio de largo período de los niveles freáticos (Venencio, 2007). Los valores de SGI se han mantenido estables en condiciones muy por encima de las normales entre 2014 y 2016. Se infiere que las variables de zona no saturada y saturada podrían haberse tornado mucho más sensibles a cambios en los extremos de precipitación. Asimismo, el alto porcentaje de la varianza explicada de los índices en las tres variables, contiene información que permite reconstruir la serie temporal de cada una.





**Figura 4.2.1.** Comparación de los índices SPI, SSI y SGI de 12 meses en la estación del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Rafaela

De esta manera, se identificaron señales climáticas de los eventos extremos en el medio no saturado, cuyo espesor oficia de atenuador de la humedad del suelo, y en el saturado donde los niveles freáticos se consideran datos climáticos filtrados (Venencio, 2000).

### Conclusiones y recomendaciones

Un mejor entendimiento de las condiciones que dan inicio a los eventos extremos permitirá mejores condiciones para su detección y con mayor rapidez. El monitoreo de estos eventos permite establecer su desarrollo y sus posibles inicios, así como su extensión en superficie y temporal.

Como los escenarios de precipitación predicen incrementos para los próximos años, las tendencias de los últimos años en el acuífero libre podrían persistir, ocasionando importantes impactos en la agricultura y la ganadería, aumentando considerablemente el riesgo a inundaciones locales en las zonas de llanura.

Así, la implementación adecuada del monitoreo, ayudaría a reducir los impactos tomando medidas de mitigación en tiempo y forma, herramienta útil para los tomadores de decisión.

## **Efectos de la expansión de cultivos sobre la regulación hídrica y climática en Argentina**

*Omar V. Müller,<sup>4</sup> María Agustina Bracalenti<sup>4</sup> y Leandro C. Sgroi<sup>4</sup>*

En las últimas décadas el sur de Sudamérica ha experimentado un proceso de fuerte expansión de sistemas antrópicos sobre tierras con vegetación natural. En Argentina, el aumento de precipitaciones, el avance tecnológico y las condiciones favorables del mercado han propiciado el avance de la agricultura en zonas áridas. Esto condujo a un proceso continuo de deforestación en el noroeste de Argentina. Según datos de la Unidad de manejo del sistema de evaluación forestal de la Dirección de Bosques, la mayor tasa de deforestación ocurrió en la región del Chaco Seco (Gasparri y Grau, 2009). En la provincia de Santa Fe los sistemas agrícolas dominan el territorio y en los últimos años avanzaron hacia el noroeste provincial (MAYDS, 2016).

La ley nacional 26331 (conocida como Ley de bosques) es el marco regulador para la protección de bosques nativos y presta especial atención al mantenimiento de la provisión de servicios ambientales de los cuales la sociedad deriva beneficios de manera directa e indirecta (Fisher *et al.*, 2009). Entre los servicios, la norma destaca los de regulación climática o hidrológica. En dicha Ley se determina el aprovechamiento de los servicios ambientales a partir de la definición de criterios de sustentabilidad ambiental. Sin embargo, estos criterios son interpretados de maneras diferentes por las distintas jurisdicciones, generando conflictos entre las partes afectadas (García Collazo *et al.*, 2013). Por otro lado, en la provincia de Santa Fe la ley provincial 13740 recientemente sancionada regula la gestión de los recursos hídricos de manera sustentable para garantizar el acceso al recurso y una gestión óptima del ordenamiento territorial. Esta Ley es un instrumento fundamental para la Secretaría de Recursos Hídricos provincial para, entre otras cosas, poner límites a prácticas de alteración de cursos de agua desde una gestión interjurisdiccional de cuencas.

La provincia de Santa Fe está expuesta a una tendencia creciente de sequías y excesos hídricos (Lovino *et al.*, 2018). Una plausible hipótesis es que Santa Fe se podría ver sensiblemente afectada por la deforestación en provincias vecinas como Santiago del Estero y Chaco debido a la topografía de llanura de la región que conduce los excesos hídricos hacia el río Paraná. En este contexto, la puesta en práctica de las leyes y decretos vigentes resulta sumamente compleja y requiere de un estudio de base científica que sustente la toma de decisiones desde una perspectiva geográficamente integral.

---

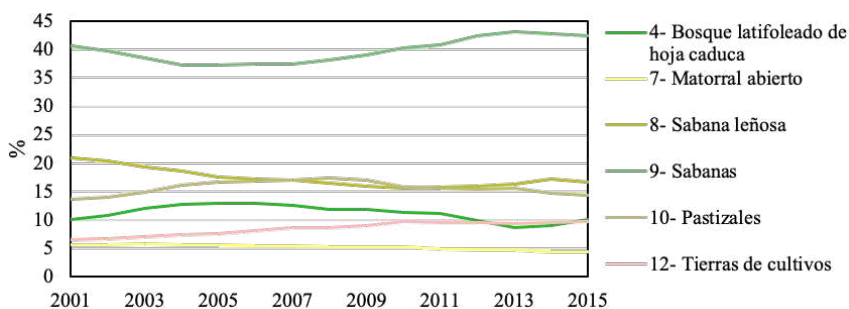
<sup>4</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

## Evaluación de los cambios en la regulación del hidroclima

Los cambios en la regulación del hidroclima regional se evalúan mediante experimentos realizados con el modelo climático regional *Weather Research and Forecasting* (WRF), el cual posee dos componentes, una atmosférica y una de suelo. La componente de suelo prescribe a cada punto de grilla un tipo de cobertura de suelo dominante con los valores correspondientes de sus propiedades biofísicas asociadas como albedo, resistencia estomática, profundidad radicular, rugosidad de superficie, entre otras. Estas propiedades son usadas para resolver el balance de agua y de energía (Chen y Dudhia, 2001). Entonces, cuando se modifica la cobertura, se cambia el valor de las propiedades y se afectan los balances (Lee y Berbery, 2012, Müller *et al.*, 2014).

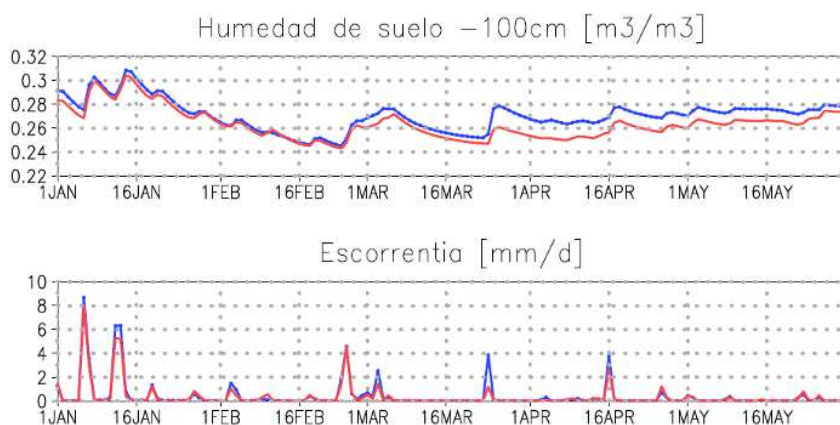
Se simuló el clima regional en un período con ocurrencia de eventos hidrológicos extremos utilizando mapas de cobertura del suelo con diversos grados de deforestación y se evaluó la respuesta de los balances de agua y energía. Para la selección de los eventos extremos se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI, por su nombre en inglés) (McKee *et al.*, 1993) correspondientes a los últimos años. El SPI consiste en la transformación de una serie temporal de precipitación en una distribución normal estandarizada (Lloyd-Hughes y Saunders, 2002). Mediante el análisis de SPI se determinó que el período a simular es 2014–2016, dada las anomalías observadas en esos años. Los mapas de cobertura utilizados se basan en observaciones satelitales del año 2001 y 2015 (con menor y mayor grado de avance de los sistemas antrópicos, respectivamente).

La información satelital de 2001 a 2015 muestra una sostenida expansión de cultivos en el noroeste de Argentina hasta el año 2010, tres años después de la implementación de la Ley de bosques (Figura 4.3.1). Luego se mantiene aproximadamente constante hasta el año 2015, donde alcanza un incremento del 49 % respecto del año 2001. Dicha expansión implica la reducción de vegetación nativa como matorrales abiertos y sabana leñosa.



**Figura 4.3.1.** Porcentaje de las categorías de cobertura más abundantes en el noroeste de Argentina para el periodo 2001–2015.

Estos cambios de cobertura modifican las propiedades biofísicas relacionadas a la vegetación, modificando los balances de agua y energía y alterando la regulación del hidroclima. En consecuencia, las variables climáticas se ven alteradas incluso en regiones cercanas a las zonas donde se produjo el avance de la frontera agrícola. En el caso de la provincia de Santa Fe, para el escenario de mayor deforestación se observa un incremento en el contenido de agua en el suelo que aumenta el escurrimiento superficial en meses húmedos (octubre a marzo) (ver Figura 4.32). Vale destacar que en el estudio de valores diarios se detectó que la escorrentía no aumenta de manera constante en estos meses, sino que se produce solo en picos de escurrimiento, es decir, se intensifican los eventos extremos que derivan en crecidas hidrológicas.



**Figura 4.3.2.** Humedad de suelo y escorrentía en la provincia de Santa Fe utilizando la cobertura de suelo del año 2001 y del año 2015.

## Conclusiones y recomendaciones

Los resultados obtenidos muestran una continua expansión agrícola en el Chaco Seco desde comienzos del siglo XXI con cierta desaceleración luego de la implementación de la Ley de bosques. Las simulaciones con modelos climáticos muestran efectos no-locales de los procesos de deforestación en regiones cercanas. Por ejemplo, la provincia de Santa Fe sufre una alteración del balance de agua aumentando su exposición a la ocurrencia de eventos hidrológicos extremos.

Los resultados sugieren que la Ley de bosques ha resultado una herramienta efectiva en la regulación de la expansión de cultivos. No obstante, los efectos climáticos no-locales de la deforestación requieren una aplicación regionalmente integral de los marcos regulatorios existentes que considere el efecto que tiene el cambio de uso del suelo sobre el clima regional. En este sentido, la utilización de modelos climáticos regionales ofrece la potencialidad de evaluar el impacto de diferentes escenarios de uso de suelo en el clima regional, convirtiéndose en una herramienta útil para la toma de decisiones sobre el ordenamiento territorial.

### **Desarrollo metodológico para el modelado y monitoreo de la evapotranspiración utilizando diferentes fuentes de datos**

*Virginia Venturini*<sup>5</sup> y *Elisabet Walker*<sup>10</sup>

La evapotranspiración (ET) representa la pérdida de agua de una superficie a través de los procesos simultáneos de evaporación y transpiración. Por lo que la comprensión de la distribución espacial de esta variable es de fundamental importancia para aplicaciones ambientales, forestales e hidrológicas.

La teledetección mostró tener gran potencial para el monitoreo de la ET en vastas extensiones. Su cuantificación a partir de imágenes satelitales es considerada la forma más económica de monitoreo que se dispone hasta la actualidad (Tang *et al.*, 2010; Walker *et al.*, 2019a). Así, en las últimas décadas se han desarrollado metodologías que estiman la ET a partir de información satelital con diferentes escalas espaciales y temporales.

Los sensores ópticos proveen la información necesaria para resolver las metodologías mencionadas con una resolución espacial de moderada a muy buena, aunque es conocido que tienen una resolución temporal baja. Por otra parte, la humedad de suelo (HS) es otra de las variables ambientales que controla

---

5 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

el intercambio de calor sensible y latente (Entekhabi *et al.*, 2014), y debe ser incorporada en el cálculo de ET. En este sentido, los sensores pasivos de microondas son una fuente importante de datos de HS. Estos sensores tienen una buena resolución temporal (aproximadamente tres días) y una baja resolución espacial. Sin embargo, son insensibles a las condiciones atmosféricas por lo que ofrecen un gran potencial para monitorear ecosistemas de gran escala. En la región centro y noreste de Argentina el conocimiento de la ET adquiere gran relevancia por ser áreas muy productivas del país. Recientemente se han publicado estimaciones de ET para estas regiones utilizando datos satelitales ópticos, solos o junto a datos observados *in situ* (Marini *et al.*, 2017; Carmona *et al.*, 2018; Walker *et al.*, 2018). No obstante, los trabajos mencionados no consideran el efecto directo de la HS en el cálculo de ET.

## Métodos

El grupo de investigación de la FICH–UNL ha desarrollado metodologías simples, flexibles y robustas para determinar ET utilizando diferentes fuentes de datos. Los modelos generados se basan en el concepto de relación complementaria de ET. Esta teoría asegura que la ET regional puede ser estimada como una función complementaria de la evapotranspiración potencial (ET<sub>pot</sub>) y de la evapotranspiración de ambiente húmedo (ET<sub>w</sub>), para un amplio rango de energía disponible. Este argumento dio origen a la siguiente ecuación:

$$ET + c ET_{\text{pot}} = d ET_w$$

donde  $c$  y  $d$  son coeficientes que dependen de factores ambientales.

Bouchet (1963) experimentalmente sugirió que  $c=0$  y que  $d=2$ , mientras que Granger (1989) derivó la ecuación de  $c=\gamma/\Delta$  y  $d=(\Delta+\gamma)/\Delta$ ; donde  $\gamma$  es la constante psicrométrica,  $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor de saturación.

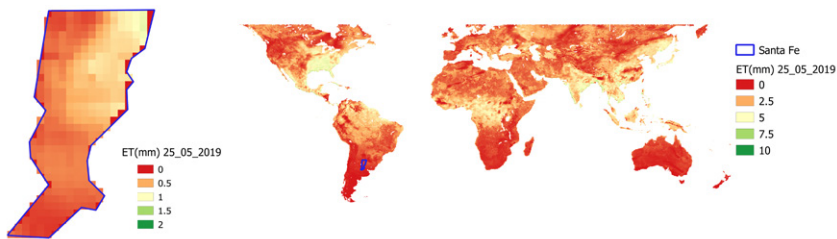
## Resultados

La Tabla 4.4.1 presenta los modelos desarrollados hasta el momento, la característica principal de cada uno y los errores medios observados. Cada una de las formulaciones permite estimar la ET, el estrés hídrico y el seguimiento de las sequías agronómicas.

**Tabla 4.4.1.** Métodos para estimar la evapotranspiración, sus principales características y errores.

Fuente	Característica principal	Errores (mm d <sup>-1</sup> )
Venturini y otros (2008)	Utiliza información de sensores térmicos para limitar la ET de la superficie evapotranspirante.	2.29
Girolimetto y Venturini (2013)	Usa la reflectancia en las bandas infrarroja corta para estimar la tensión de vapor de saturación, que es un factor limitante de la ET.	1.41
Walker y otros (2019a)	Utiliza la humedad del suelo para limitar el ET.	1.00
Walker y otros (2019b)	Utiliza la humedad y la textura del suelo para limitar el ET.	1.06

En la Figura 4.4.1 se observa la ET global y un detalle en la provincia de Santa Fe, durante el día 25 de mayo del 2019, estimada con el método de Walker *et al.* (2019b). Acorde con la época del año, en Santa Fe la máxima ET estimada fue de 1 mm d<sup>-1</sup>, mientras que a nivel global la máxima calculada fue aproximadamente 7 mm d<sup>-1</sup>.



**Figura 4.4.1.** Mapa de evapotranspiración según Walker *et al.*(2019b) para la provincia de Santa Fe el 25/05/2019, en el contexto de la evapotranspiración global en ese día.

## Conclusiones y recomendaciones

Se verificó que es posible aproximar ET adecuadamente con variables de la superficie, tales como la humedad y la textura del suelo, y así reducir el número de variables involucradas en el cálculo. Estos métodos podrían ser aplicados en ambientes donde el agua y la radiación son los factores limitantes de ET, como por ejemplo en regiones áridas y semiáridas. Por lo tanto, se recomienda seleccionar la ecuación a utilizar en función de los datos disponibles, ya que todas han demostrado tener errores aceptables.

## Desarrollo de un algoritmo para determinar el contenido de humedad del suelo desde imágenes SAR

*Silvio Graciani*,<sup>6</sup> *Leticia Rodríguez*<sup>6</sup> y *Marco Brogioni*<sup>6</sup>

Es de particular interés para la agricultura la determinación de la humedad del suelo (HS) alrededor del período de siembra de los cultivos, lo que se conoce como humedad de siembra. Además, el conocimiento de la HS es esencial para estimar la capacidad de almacenamiento de las cuencas con anterioridad a la época lluviosa, ayudando así a prevenir inundaciones y planificar medidas de manejo del agua. Todo avance en el conocimiento de esta variable y su vinculación con otras de relevancia en el ciclo hidrológico, reportará beneficios no solo desde el punto de vista científico sino aplicado al agro y al manejo de los recursos hídricos en general. Los sensores instalados en satélites, con una cobertura completa y periódica de la superficie terrestre, permiten estimar

<sup>6</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.



la HS a escala regional. Durante las tres últimas décadas, el uso de imágenes satelitales radar ha brindado una perspectiva creciente para las estimaciones espaciales e instantáneas de esta variable (Wang y Qu, 2009). Por ejemplo, el sensor radar de microondas activo denominado SAR, es hoy ampliamente utilizado para mapear la HS en grandes superficies, principalmente en banda L, aunque también se usan C y X exitosamente (Jackson *et al.*, 1996; Piles *et al.*, 2009; Das *et al.*, 2011).

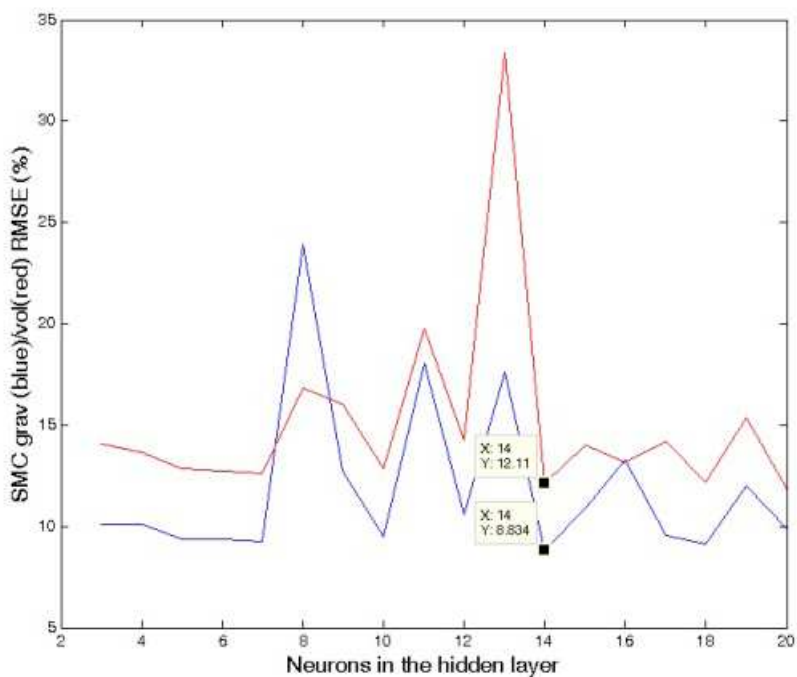
Diversas investigaciones han demostrado que los sensores operando en banda L (23 cm de longitud de onda), proveen información para estimar la HS a una profundidad que depende de las características del suelo y de su perfil de humedad. Muchos trabajos publicados están basados en modelos simples, empíricos o semiempíricos, fáciles de ser invertidos al momento de recuperar parámetros del suelo.

Al inicio de este proyecto, no se contaba con un satélite SAR en banda L. Por ende, se emplearon imágenes SAR adquiridas en banda X (3 cm de longitud de onda) provenientes de los satélites COSMO SkyMed y Terrasar, para probar metodologías de estimación de HS aplicadas en el centro de la provincia de Santa Fe. El objetivo del proyecto fue adaptar/desarrollar algoritmos de inversión de diferentes modelos para determinar la HS próxima a la superficie (5–10 cm), en áreas de llanura del departamento Castellanos, Santa Fe, cercanas a la localidad de Ataliva, a través de la utilización de imágenes satelitales SAR.

## Resultados y discusión

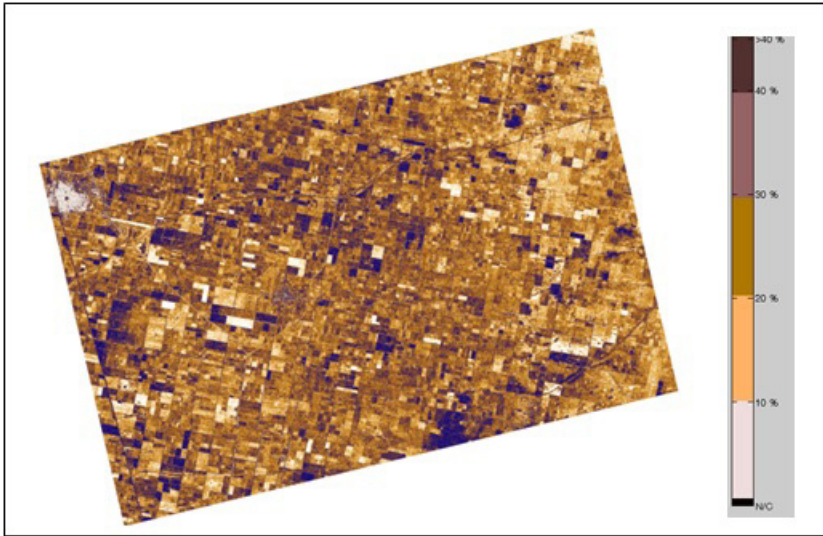
En el algoritmo para estimar la HS, la inversión del backscattering ( $\sigma^0$ ) se realiza por medio de una red neuronal artificial (RNA). Esta técnica es muy flexible y permite construir relaciones entre datos de entrada diferentes, por ejemplo:  $\sigma^0$ , NDVI, datos auxiliares, etc. En este estudio la RNA relaciona  $\sigma^0$  de banda-X con la HS, el algoritmo desarrollado es flexible y puede aceptar otros datos de entrada en orden a mejorar la performance de la inversión (por ejemplo,  $\sigma^0$  en banda-L o datos de precipitación).

Se realizaron numerosas mediciones de HS gravimétrica *in situ* en diferentes fechas, se seleccionó el 75 % de ellas para entrenar la RNA, reservando el resto para testear la validez de la red. Utilizando el conjunto de datos de entrenamiento, se seleccionó el número de neuronas de la capa oculta. Se entrenaron varias RNA, cada una con diferente tamaño de la capa oculta, luego utilizando los datos para testear la validez, se analizó el error cuadrático medio (RMSE) de la HS estimada, ver Figura 4.5.1.



**Figura 4.5.1.** Error cuadrático medio (RMSE) de la HS gravimétrica y volumétrica estimada.

El menor valor de RMSE se obtuvo para una capa oculta compuesta por 14 neuronas: el RMSE del contenido gravimétrico de agua fue 8,83 % y del contenido volumétrico 12,11 %. La Figura 4.5.2 muestra un mapa de HS elaborado a partir del algoritmo de inversión de la RNA aplicado sobre la imagen TerraSAR-X del 03/09/2012.



**Figura 4.5.2.** Mapa de humedad del suelo (HS) para el 03/09/2012 derivado de la RNA.

### Conclusiones y recomendaciones

Para lotes con valores de contenido volumétrico de agua similares medidos en campo se obtienen valores diferentes de backscattering ( $\sigma^{\circ}$ ). Esto podría deberse a la diferencia de cobertura de los distintos lotes (rastreo de soja, maíz, sorgo, etc.). Otro factor que afectaría los resultados es el porcentaje superficial de dicha cobertura.

La comparación entre la HS obtenida de la inversión realizada con la RNA para una imagen TerrasAR-X mostró que la RNA arrojó valores de HS cercanos a los medidos en campo.

El algoritmo desarrollado es muy flexible y puede aceptar otros datos de entrada en orden a mejorar la performance de la inversión, por ejemplo,  $\sigma^{\circ}$  en banda-L.

La humedad del suelo (HS) es una variable clave para la agricultura y la gestión y manejo del agua en las cuencas. Las mediciones *in situ* de la HS se llevan a cabo a nivel puntual o de lote, lo cual demanda tiempo y altos costos. Las imágenes Radar de Abertura Sintética (SAR) posibilitan estimar dicha variable a escala regional, con una cobertura completa y periódica de la superficie terrestre.

Recientemente, comenzaron a estar disponibles imágenes en banda-L debido al lanzamiento en octubre del 2018 del satélite SAR nacional SAOCOM1 por la Comisión Nacional de Actividades Espaciales-CONAE, las cuales además cuentan con la ventaja adicional de poder ser adquiridas en cuatro polarizaciones (HH, VV, HV y VH). Esta nueva información favorece su utilización para derivar la HS en el sector centro norte de la provincia dadas las ventajas de la banda L respecto a otras alternativas.

### **Un datalogger energéticamente eficiente basado en código y hardware abiertos, su uso en una WSN para detectar parámetros ambientales**

*Carlos Vionnet,<sup>7</sup> Emiliano López,<sup>8</sup> Guillermo Contini,<sup>8</sup>  
Jorge Prodolliet,<sup>8</sup> Ma. Victoria Paredes<sup>8</sup> y Edgar Cossy<sup>8</sup>*

Ya sea que se trate de los efectos de la hidrología cambiante a escala de cuenca, o de la necesidad de aumentar la producción de alimentos para una población mundial en crecimiento, el punto es que resulta crucial contar con tecnologías innovativas capaces de monitorear en forma intensiva las variables ambientales. Los sistemas de alerta temprana de crecidas, o los diseñados para mutar de los métodos de cultivo tradicionales a las prácticas de precisión agrícola, requieren el manejo de una cantidad significativa de datos. Los dispositivos desarrollados por la industria privada, orientados a las aplicaciones ambientales, se basan a menudo en tecnologías patentadas y costosas que los propios fabricantes evitan poner al alcance del público. Como resultado, el usuario pronto se encuentra en una situación incómoda debido a las dificultades que entraña introducir cambios en el equipo para adecuarlo a sus necesidades. La integración de redes de dispositivos de medición con servicios web ya es popular en la siembra de precisión, el riego, la fertilización y la cosecha en la agricultura inteligente, al igual que en los sistemas de información hidrológica. Los recientes avances han conducido a una variedad de desarrollos de *wireless sensor network* (WSN) basados en componentes económicos operados con código abierto, y orientados a una recopilación exhaustiva de datos debido a su reducida inversión inicial y su bajo costo de mantenimiento.

---

7 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-UNL).

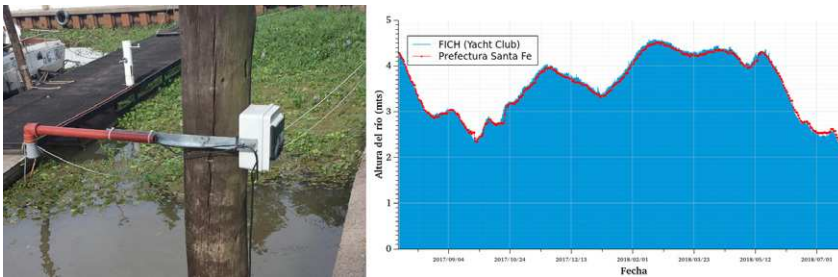
8 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

## Desafíos tecnológicos

Un nodo WSN contiene varios elementos técnicos, y cuanto mayor sea la tasa de medición y cuanto más frecuente sea la transmisión de datos, mayor será el consumo de energía. Las WSN alimentadas por celdas solares se adaptan bien a las aplicaciones de monitoreo ambiental, ya que pueden operar durante largos períodos de tiempo con costos de instalación mínimos. Para los nodos WSN alimentados por celdas primarias, la opción es extender la vida útil de las baterías no recargables lo más posible (Knight *et al.*, 2008). Por el contrario, a pesar de que las baterías secundarias pueden prolongar la vida útil de los sensores a través de su capacidad de recarga, las limitaciones de los sistemas de captación de energía hacen que la reducción del consumo sea la única posibilidad de fomentar el uso generalizado de WSN de fuente abierta.

## Alcances del proyecto

Se ha podido construir un registrador de datos de bajo consumo que monitorea parámetros de interés en una amplia gama de entornos agrícolas y ambientales (López *et al.*, 2020). El hardware utilizado se basa en la plataforma de código abierto Arduino. Ese registrador puede integrar, de ser necesario, un núcleo de una WSN para recopilar datos hidroambientales en una vasta variedad de problemas tanto de interés particular (productores agropecuarios) como institucionales (Redes de Alerta, etc.) (Figura 4.6.1).



**Figura 4.6.1.** Lectura y transmisión automática de niveles del río (Laguna Setúbal, Santa Fe).

## Recomendaciones

La experiencia alcanzada durante la verificación (en laboratorio y campo) del desarrollo mencionado garantiza una prestación eficiente para la transmisión remota de información agro–hidrológica. Esto debería ser tenido en cuenta por los responsables de operar redes públicas, dado los elevados costos de las alternativas comerciales.

### **La cuenca interprovincial de los Bajos Submeridionales y su funcionamiento hidroambiental, base para la gestión sustentable**

*Leticia Rodríguez,<sup>9</sup> Belén Thalmeier<sup>10</sup> y Emiliano A. Veizaga<sup>9</sup>*

La región de los Bajos Submeridionales (BBSS) situada en el NO de la provincia de Santa Fe, SE de Santiago del Estero y SO de Chaco, cubre 54 280 km<sup>2</sup>, forma parte de la planicie distal del megaabánico fluvial del río Salado–Juramento (Figura 4.7.1) (Thalmeier *et al.*, 2018; Thalmeier *et al.*, 2020). En el sector santafesino, la actividad productiva es fundamentalmente la ganadería extensiva. Durante años hidrológicos secos, las reservas de aguas superficiales disponibles para el ganado se reducen o se agotan, y el agua subterránea constituye la fuente alternativa (Sosa, 2012). Los acuíferos someros en explotación contienen aguas en general de elevada salinidad, mientras que los acuíferos más profundos son aún más salinos. Sin embargo, Sosa *et al.* (2014) explican que en territorio santafesino los paleocauces del río Salado–Juramento pueden constituir reservorios de agua menos salina para garantizar la sustentabilidad ganadera, aunque el volumen/calidad del agua es variable.

Los sistemas productivos son muy dependientes de las condiciones hidroclimáticas extremas que fluctúan entre inundaciones y sequías, con respuestas muy variables anualmente en el contexto de la variabilidad climática actual. La mitigación del efecto de las inundaciones se ha abordado mediante la construcción de canales que en muchos casos no respetan las direcciones naturales de escurrimiento. Algunas vías de comunicación constituyen barreras al flujo superficial. Por otro lado, la sustitución del monte nativo por cultivos anuales, modificó no solo el uso del suelo sino también la dinámica hídrica de toda la región. A la demanda hídrica de las actividades productivas se suman los requerimientos medioambientales, pues los reservorios naturales de aguas

---

<sup>9</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

<sup>10</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET–UNL).

superficiales vinculados a las aguas subterráneas albergan una gran riqueza de flora y fauna típicas de humedales. Estas demandas no suelen recibir igual atención que las del sector social y productivo.

El actual modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico de los BBSS, bosquejado por Sosa *et al.* (2014) para los BBSS santafesinos y revisado por Heredia *et al.* (2018) aún presenta grandes incertidumbres, entre ellas la indefinición en los límites, el desconocimiento de la zona y magnitud de la recarga y el patrón de flujos regionales.

La Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, en conjunto con el Instituto Nacional del Agua, el Instituto Geológico y Minero de España y la Universidad Nacional de Entre Ríos, desarrolla estudios multidisciplinarios para lograr un mejor entendimiento del funcionamiento hidroambiental de la región que contribuya a una gestión de los recursos hídricos en armonía con el medioambiente.

## Resultados

- Aplicación de un enfoque sistémico considerando los Bajos Submeridionales como un sistema regional sin límites interprovinciales.
- Integración de información antecedente y generada por el grupo de investigación de variables hidrometeorológicas, de calidad de aguas, y niveles piezométricos, entre otras, que ha permitido interpretar el sistema en forma integral y no sectorial. Identificación de la dirección regional de flujos subterráneos, predominantemente NO-SE, con posible zona de recarga regional al pie de las Sierras Subandinas.
- Identificación de cinco facies hidroquímicas de las aguas subterráneas: cloruradas/sulfatadas - sódicas ( $\text{Cl}/\text{SO}_4\text{-Na}$ ), sulfatadas/cloruradas - sódicas ( $\text{SO}_4/\text{Cl-Na}$ ), cloruradas -sódicas ( $\text{Cl-Na}$ ), cloruradas/bicarbonatadas - sódicas ( $\text{Cl}/\text{HCO}_3\text{-Na}$ ) y bicarbonatadas/cloruradas - sódicas ( $\text{HCO}_3/\text{Cl-Na}$ ), lo cual demuestra el predominio del sodio ( $\text{Na}^+$ ) y el cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) y el sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) como catión y aniones dominantes, respectivamente.
- Determinación del grado de mineralización de las aguas a nivel regional, entre medio a elevado y con amplio rango de conductividad eléctrica (CE), entre  $458 \mu\text{s}/\text{cm}$  y  $65000 \mu\text{s}/\text{cm}$  (Figura 4.7.2).

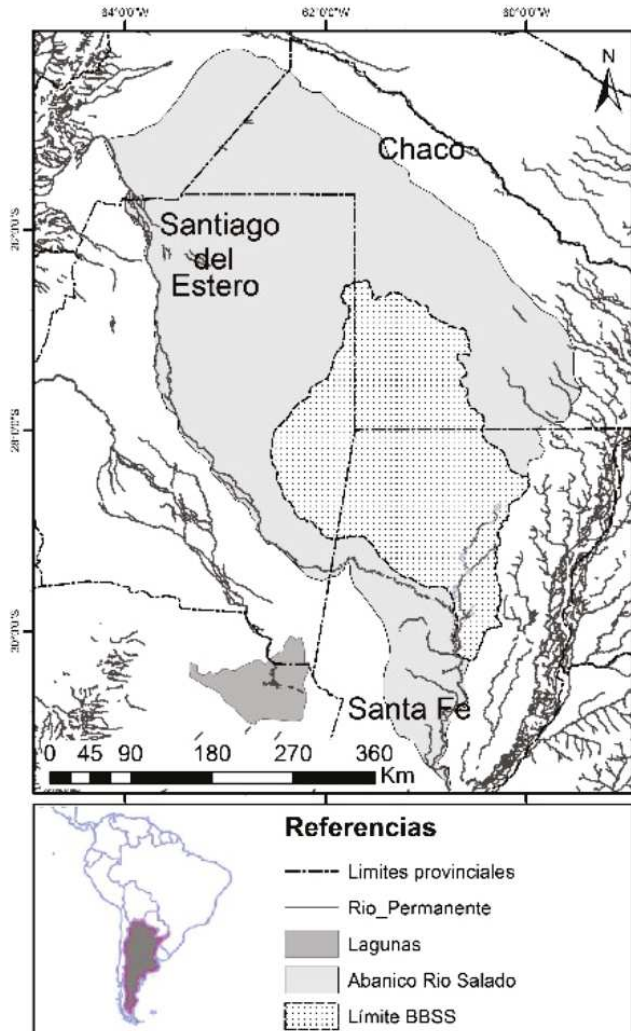
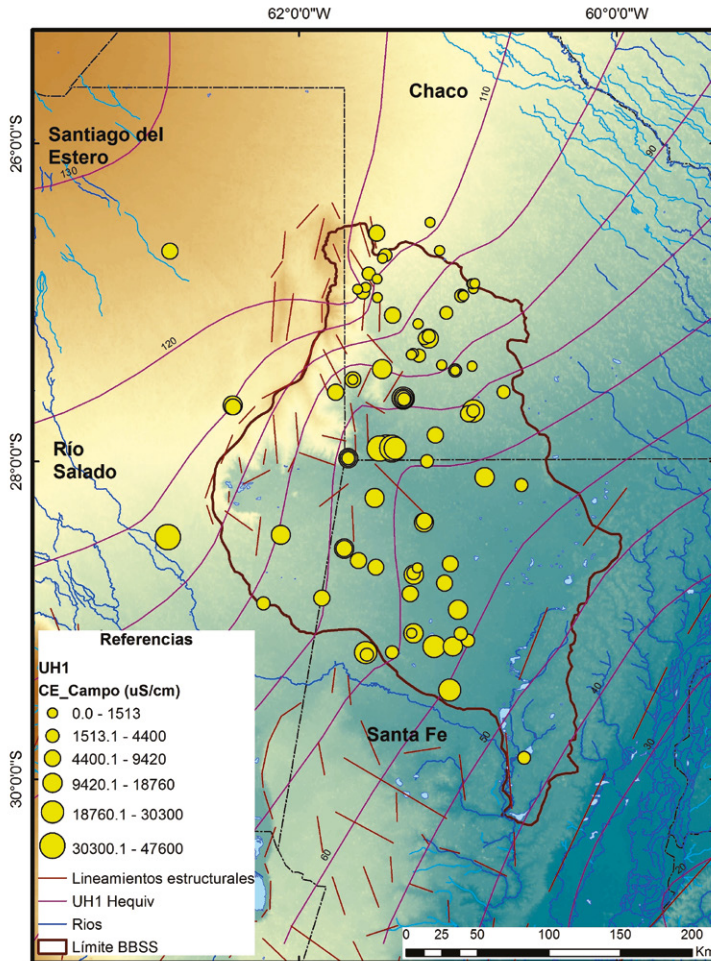


Figura 4.7.1. Ubicación.



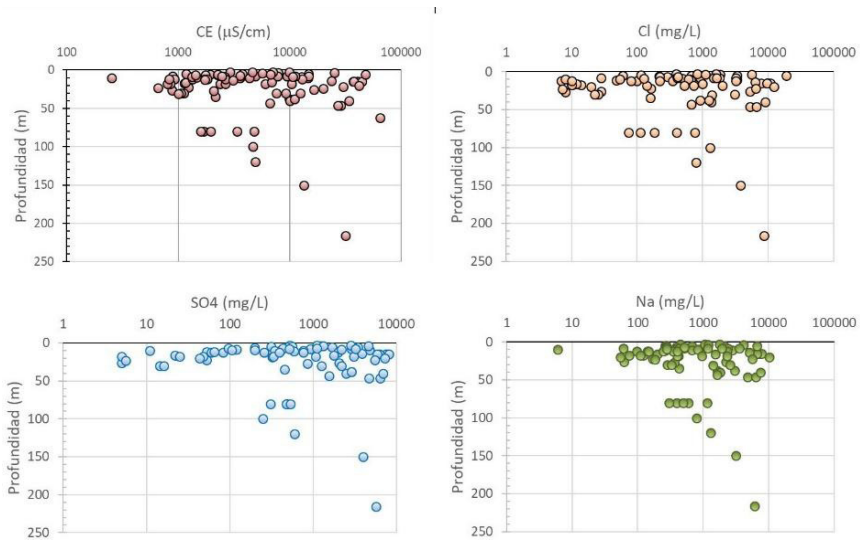


**Figura 4.7.2.** Piezometría del acuífero freático–conductividad eléctrica del agua subterránea.

- Análisis de la variación en profundidad de iones mayoritarios (Figura 4.7.3), que evidencia una tendencia a mayor salinidad a mayor profundidad, limitando la explotación subterránea.
- Generación de mapas de unidades de paisaje y rasgos ambientales en el que se identifican cinco unidades, las cuales resumen y reflejan a través de su vegetación dominante, las principales características ambientales: Unidad de Lagunas y paisajes inundables asociados, Unidad Agrícola–Ganadera, Unidad de Arbustales y Pastizales pirohalófitos, Unidad de Bañados

Semipermanentes y Unidad de Bosques. Generación de mapas de distribución mensual/anual de precipitación y temperatura, que evidencian el gradiente Este–Oeste de las precipitaciones, y Norte–Sur de la temperatura, y de direcciones de escurrimiento subterráneo.

- Cálculo de balance hídrico regional.
- Inferencia de la circulación de flujos en múltiples acuíferos (la Figura 4.7.1 muestra la piezometría del acuífero freático), los flujos regionales se originarían en el piedemonte de las Sierras Subandinas y descargarían en el río Paraná; propuesta de definición de límites del sistema subterráneo/superficial (Figura 4.7.1 y 4.7.2), identificación preliminar de vinculación subterráneo/superficial, y su relación con unidades de paisaje.



**Figura 4.7.3.** Variación en profundidad de CE e iones dominantes (Veizaga *et al.*, 2019).

### Recomendaciones

- Monitorear variables hidroambientales en sitios estratégicos en forma continua, tanto en Santa Fe como en provincias vecinas donde se generan los aportes hídricos a la provincia.
- Armonizar la disponibilidad hídrica con la producción sin olvidar el medioambiente, representado por unidades de paisaje.
- Conducir los excesos hídricos por bajos naturales, y repensar las obras de canalización existentes acerca de su funcionalidad y potenciales correcciones.

- Continuar la búsqueda de fuentes alternativas de agua o soluciones técnicas para su tratamiento, para satisfacer el consumo humano, productivo y ambiental, implementando soluciones a diferentes escalas espaciales, que alienten el arraigo poblacional y el crecimiento productivo de la región.

### **El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas rurales en el centro de la provincia de Santa Fe**

*Marta Paris,<sup>11</sup> Mónica D'Elia<sup>11</sup> y Marcela Pérez<sup>11</sup>*

La ciudad de Esperanza (departamento Las Colonias) sustenta su abastecimiento con aguas subterráneas, con lo cual es indispensable la protección del recurso y las obras de captación. Los avances logrados en el marco de los proyectos de investigación desarrollados en la Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas (FICH), subsidiados por la UNL señalan la importancia de la ciencia, como motor que genera soluciones efectivas para que la sociedad alcance las metas del desarrollo sostenible y seguridad hídrica.

#### **Aportes y resultados**

Desde 1997 la ciudad de Esperanza es objeto de estudios encarados por la FICH-UNL. Los resultados obtenidos permitieron definir en el año 1999 un modelo de gestión para garantizar el uso sostenible de los recursos hídricos disponibles en el área y acompañar el desarrollo sostenible de la región. Se determinaron el diseño y distancia entre las obras de captación como también su esquema de explotación y el diseño de los pozos de monitoreo del sistema acuífero mediante la implementación de un modelo matemático hidrogeológico.

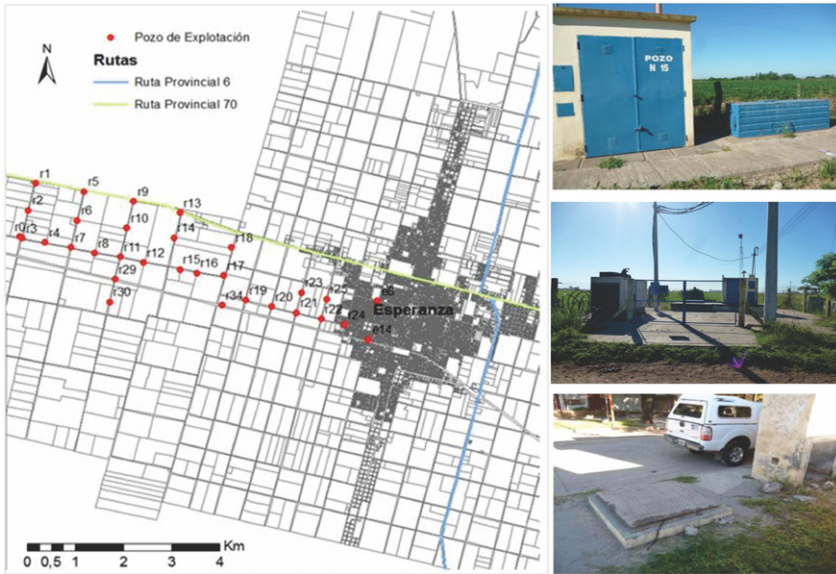
Los escenarios de explotación ensayados dieron lugar a diferentes alternativas de gestión para 20 años de proyección de la demanda. El modelo de gestión del abastecimiento de agua condujo al diseño del actual campo de bombeo, localizado al oeste de la ciudad (principalmente en zona rural) (Figura 4.8.1) y posibilitó dar respuesta a la creciente demanda de agua de la ciudad de Esperanza, y también Rafaela. Además, este campo de bombeo permitió considerar el peligro de contaminación de las fuentes de abastecimiento (pozos) por la actividad industrial y de servicios que se desarrolla en el ejido urbano, el deterioro de la calidad del agua subterránea por ascenso de agua salina, y la búsqueda de consenso entre los distintos estamentos de ambas comunida-

---

11 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

des (empresa prestadora, ONGs, gobiernos locales y provincial, ente regulador, profesionales, técnicos, científicos, etc.). El mismo está compuesto por 32 pozos que abastecen además a la localidad de Rafaela (unos 50 km al oeste de Esperanza), a cargo desde el año 2004 de la Empresa Aguas Santafesinas SA (sociedad anónima del Estado Provincial).

Se formularon diversas recomendaciones al prestador del servicio para implementar: a) perímetros de protección en el área operacional de los pozos, a partir de inspecciones sanitarias que indicaron que un gran número de ellos revisten una categoría de contaminación entre moderada y muy alta (Paris *et al.*, 2017) y; b) el monitoreo sistemático de los recursos hídricos (tanto en cantidad como en calidad) mediante mediciones de la profundidad del nivel de agua y caudales de extracción y, la cuantificación de indicadores de calidad del agua (valores umbrales y niveles de alerta) (Paris *et al.*, 2014). Estas estrategias permitirán garantizar la gestión sostenible del sistema acuífero, evitando la ruptura del equilibrio hidráulico entre el acuífero Puelche (semiconfinado, donde se extrae el agua para consumo humano), el Pampeano (libre, de menor rendimiento y calidad) y el agua salada alojada en la Formación Paraná (de origen marino) (D'Elia *et al.*, 2013).



**Figura 4.8.1.** Campo de bombeo del sistema de abastecimiento de agua potable para las localidades de Esperanza y Rafaela (Distrito Esperanza, Santa Fe).

## Conclusiones y recomendaciones

La gestión sostenible del agua subterránea en la provincia de Santa Fe requiere la implementación de estrategias para proteger tanto la calidad y cantidad de los acuíferos como las obras de captación. En el caso de Esperanza, las extracciones no planificadas y la ubicación de los pozos en la cercanía de establecimientos industriales, demandaron acciones sustanciales. El conocimiento del sistema acuífero, generado desde la FICH–UNL, a partir de valiosa información antecedente e investigaciones de campo realizadas en el marco de investigaciones financiadas principalmente por la Universidad ha sido motor para generar soluciones efectivas y un aporte fundamental para la toma de decisiones. A partir de las lecciones aprendidas se recomienda que, las localidades que sustenten su abastecimiento con agua subterránea desarrollen esquemas planificados de extracción contemplando la protección de la zona operacional de los pozos y el monitoreo del acuífero. Esto es válido aún en el caso particular de localidades conectadas (o de futura conexión) al Sistema de Grandes Acueductos pues, un esquema planificado de extracciones en alguno/s de los actuales pozos en servicio permitiría contar con un plan de contingencia que permita atender situaciones de emergencia (ruptura o fallas en el acueducto, la planta de potabilización, incrementos de demanda, sequías, etc.) a la vez de aportar información estratégica sobre las evolución en las variaciones de la profundidad del agua subterránea.

### **El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas urbanas de la provincia de Santa Fe**

*Mónica D'Elia,<sup>12</sup> Marta Paris<sup>12</sup> y Marcela Pérez<sup>12</sup>*

La ciudad de Santa Fe se ubica entre los valles aluviales de los ríos Salado y Paraná y está sometida a las inundaciones de ambos ríos. Además, en la región se presenta una alternancia de años húmedos y secos con eventos hidrometeorológicos extremos. El crecimiento urbano de la ciudad se ha materializado hacia el norte y oeste en asentamientos planificados y no planificados, en los que el abastecimiento de agua se realiza a través de perforaciones comunitarias y/o perforaciones domiciliarias y el saneamiento a través de sistemas de pozos sépticos. Además, el desarrollo urbano en el sector central de la ciudad a través de edificaciones en altura conlleva al aumento de construcciones subterráneas y en ocasiones al colapso de la infraestructura de servicios.

---

<sup>12</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

Desde el año 1995 es de interés de la FICH–UNL estudiar el sistema acuífero que subyace a la ciudad de Santa Fe, su vulnerabilidad y los peligros de contaminación del agua subterránea, para así proponer pautas para su protección, atendiendo a la importante población servida con agua subterránea. Recién luego de la inundación del año 2003, quedó al descubierto la vulnerabilidad de la ciudad y de muchos sectores de la provincia de Santa Fe, no solo en relación con los aspectos hídricos, sino también con los aspectos sanitarios, sociales y estructurales.

La interrelación entre el agua superficial y subterránea requiere ser considerada conjuntamente para definir las mejores alternativas tecnológicas de la infraestructura urbana, el manejo de anegamientos e inundaciones y la protección del recurso.

## Aportes y resultados

A partir del año 2008, se comienza a estudiar el sistema acuífero con subsidios de la UNL y otros, y se implementa en la ciudad una red de monitoreo de agua subterránea compuesta por 23 pozos, actualmente operativa (Figura 4.9.10.1). Como resultado de las investigaciones fue posible formular el modelo conceptual de funcionamiento del sistema hídrico subterráneo que subyace a la ciudad. Se observó que la profundidad del agua subterránea varió entre pocos cm de la superficie del terreno a 8 m, en el período 2008–2018 y que los niveles freáticos ascienden por la llegada de agua de recarga proveniente de las precipitaciones, lo que fue corroborado por estudios isotópicos y por las características químicas del agua subterránea. A través del análisis de las curvas piezométricas se ha evidenciado una divisoria de aguas subterráneas en el área central de la ciudad y una circulación y descarga hacia el río Salado al oeste y laguna Setúbal al este. El análisis de las fluctuaciones de los niveles freáticos en relación con las alturas hidrométricas de ambos cuerpos de agua, confirmaron esta situación (Figura 4.9.1) (D'Elia *et al.*, 2011; D'Elia *et al.*, 2018a). Además, se ha estudiado la relación del agua subterránea y un importante reservorio destinado al almacenamiento de excedentes pluviales ubicado en el norte de la ciudad y simulado su funcionamiento considerando los desagües actuales y las obras de desagües proyectadas. Se determinó la vulnerabilidad a la contaminación del acuífero, se caracterizaron las principales actividades potencialmente contaminantes y consecuentemente los peligros de contaminación del agua subterránea. Se analizaron las características microbiológicas del reservorio antes mencionado y el impacto del antiguo relleno sanitario en el agua del acuífero subyacente (Pagliano y D'Elia, 2016; D'Elia *et al.*, 2018b).



**Figura 4.9.1.** Ubicación de los pozos de monitoreo y variaciones de niveles freáticos en relación con las precipitaciones y alturas hidrométricas.

Los resultados obtenidos hasta el momento fueron transferidos al gobierno municipal de la ciudad de Santa Fe y contribuyeron a dar respuesta a diferentes requerimientos ante situaciones específicas de la planificación de obras subterráneas, control de anegamientos y prevención y mitigación de la contaminación del agua subterránea, entre otras.

### Conclusiones y recomendaciones

El abordaje del estudio de un sistema acuífero en un área urbana no es sencillo. Particularmente en la ciudad de Santa Fe, requirió de la recopilación de información antecedente y de la implementación y operación de una red de monitoreo que permitió obtener información hidrogeológica durante diez años y la realización de ensayos en campo, fundamentales para conceptualizar y monitorear el sistema acuífero. Para ello se contó con el apoyo de los sectores hídrico y ambiental del gobierno municipal y fue necesario realizar acuerdos institucionales con los sectores comprometidos (reparticiones públicas municipales, provinciales y nacionales, clubes, escuelas, ONGs). Los resultados logrados hasta el presente y las acciones desarrolladas muestran una arti-

culación armoniosa entre el sector académico, la sociedad y el sector político; engranaje clave para mejorar el nivel de seguridad hídrica de la población.

Se recomienda la implementación y operación de redes de monitoreo de agua subterránea, para la obtención de información hidrogeológica que permita comprender el funcionamiento de los sistemas acuíferos no solo para estudios regionales sino también para estudios a escala local y urbana. Por otra parte, las fluctuaciones de los niveles freáticos en áreas urbanas deberían ser consideradas a la hora de planificar obras subterráneas para evitar problemas durante su ejecución o posterior a ella relacionados con el colapso de las construcciones o redes de servicios.

### **Procesos naturales de transformación de la calidad de agua freática en humedales ribereños**

*Emiliano Veizaga*<sup>13</sup> y *Leticia Rodríguez*<sup>13</sup>

Las franjas ribereñas, definidas como zonas de transición entre el ecosistema terrestre y el ecosistema acuático, constituyen áreas de interés para su estudio y conservación debido a los múltiples servicios ambientales que estas ofrecen. Entre estos se destacan la capacidad para atenuar pulsos de concentración de sustancias disueltas transportadas por el agua subterránea, la retención de sedimentos, la reducción de los procesos de erosión de márgenes, la participación en la conformación de corredores biológicos, entre otros, gracias a su estrecha relación con la vegetación hidrófita que allí crece y se arraiga.

La cuenca del arroyo Cululú (9636 km<sup>2</sup>), localizada en el centro oeste de la provincia de Santa Fe, es uno de los tributarios principales del río Salado. Este curso de agua presenta a ambos lados franjas ribereñas caracterizadas por la presencia de vegetación adaptada a ambientes saturados de agua salobre. Estas franjas con anchos promedio del orden de los 100 m, reciben los flujos de agua superficial y subsuperficial provenientes de la cuenca media y alta, caracterizada por una fuerte actividad agrícola–ganadera que en las últimas décadas se ha expandido notablemente, incrementando el uso de agroquímicos y fertilizantes e impactando directamente sobre estas reduciendo su ancho y por ende su capacidad de depuración natural. Sumado a ello, no existe una clara comprensión por parte de los diferentes actores de la cuenca, del valor y la utilidad natural que estos ambientes proporcionan.

---

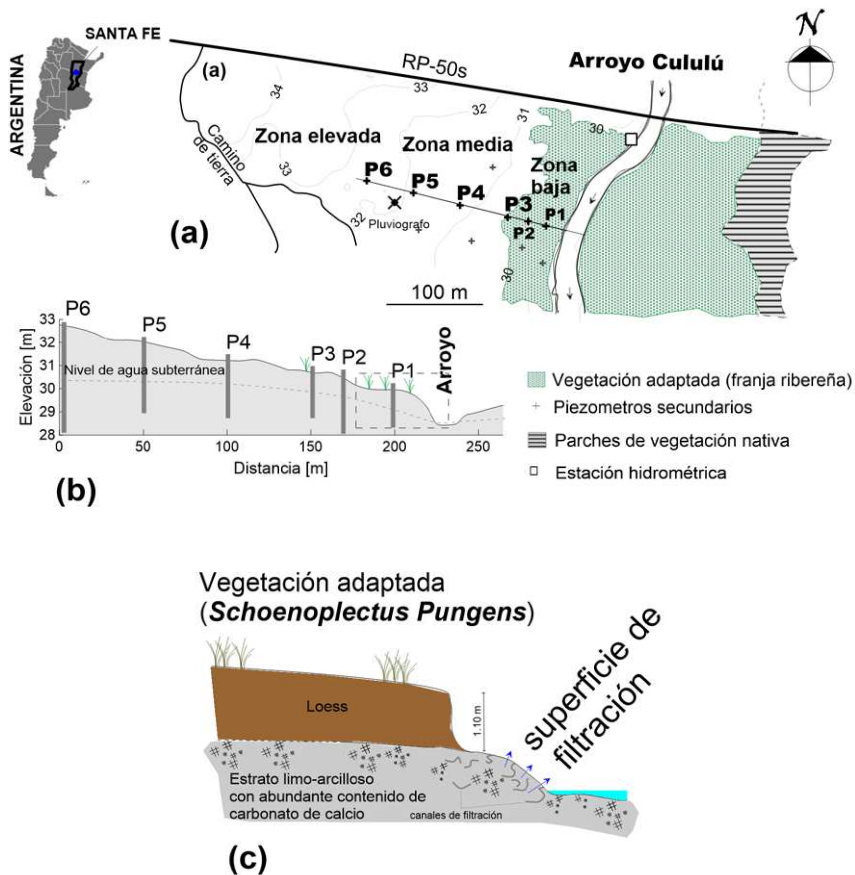
<sup>13</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.



## Resultados

Los estudios llevados a cabo por el Centro de Estudios Hidroambientales (CENEHA–FICH) integrando monitoreo de campo, captura de variables ambientales (nivel freático del acuífero superficial, nivel del arroyo Cululú, precipitación) y toma de muestras de agua y sedimentos desde 2007 hasta la actualidad han permitido caracterizar el flujo de agua a través de patrones hidrológicos, vinculando estos patrones al transporte de solutos en una zona ribereña de este arroyo.

En la intersección con la ruta provincial 505, se ha instrumentado una parcela mediante la instalación de piezómetros posicionados sobre un transecto de 220 m de longitud, perpendicular al arroyo (Figura 4.10.1), integrando una zona elevada de pastos bajos, una zona intermedia/transición y una zona baja/anegable donde crece exclusivamente la especie *Schenoplectus punges*. Esta especie está adaptada a ambientes salobres y soporta periodos de encharcamiento temporal, rangos de pH entre 5,5 y 8, indicativo de la alcalinidad del suelo y riqueza de nutrientes, específicamente nitrógeno. Se han medido variables *in situ* mediante el uso de equipos multiparamétricos que incluyeron, oxígeno disuelto (OD), conductividad eléctrica (EC), sólidos disueltos totales (SDT), pH, potencial de oxidación–reducción (ORP) y temperatura (T), tanto en los piezómetros como en el agua del arroyo. El análisis realizado del conjunto de datos reveló la presencia de distintos procesos que controlan la química del ambiente ribereño, tales como reacciones de óxido–reducción, dilución por flujos locales de infiltración, concentración de sales provocada por la evaporación, captura de nutrientes por la vegetación ribereña y lavado por agua de desborde del arroyo durante los pulsos de crecida. Del mismo análisis se han podido observar marcadas tendencias de atenuación de la concentración de iones en solución a medida que el agua se acerca al arroyo. En este sentido la reducción de masa de soluto calculada utilizando los flujos de agua y los valores de concentración confirmaron una mayor reducción de masa para  $\text{SO}_4^{2-}$  que  $\text{Cl}^-$  a lo largo del transecto, con valores promedio de 90 y 56 % para dos patrones hidrológicos distintos, respectivamente. Estos resultados fueron sustentados por los valores de potencial de óxido–reducción, el cual fue más negativo a medida que el punto de medición se acercaba al arroyo, denotando condiciones de anoxia y fuentes aceptoras de electrones, indicativo de procesos de reducción activos (Veizaga *et al.*, 2019).



**Figura 4.10.1.** a- Ubicación y esquema en planta del sitio de investigación, b- Perfil longitudinal del transecto y profundidad de los piezómetros instalados. c- Detalle de la composición sedimentaria de la margen del arroyo Cululú en el extremo del transecto estudiado.

## Recomendaciones

En los últimos 30–40 años, la agricultura en la zona pampeana se ha expandido en forma sostenida, ocupando progresivamente áreas ribereñas de los cursos de agua cada vez más extensas. El funcionamiento hidrológico y los procesos de transformación hidro–biogeoquímica que ocurren en estas franjas han mostrado desempeñar un rol importante en la atenuación de la concentración de los nutrientes derivados de la fertilización, que en última instancia llegarían a los cursos de agua. Este proceso de atenuación se conoce relati-

vamente bien en las cabeceras de las cuencas, pero en mucha menor medida en las zonas más bajas y en la desembocadura de las cuencas de llanura. Los resultados de esta investigación han demostrado esa capacidad de atenuación natural de los nutrientes en los ambientes de humedales ribereños, constituyendo un servicio ecosistémico de los mismos. En un contexto de cambio climático, es necesario profundizar el conocimiento en la comprensión de los procesos físicos, químicos y/o biológicos que se producen en estas franjas ribereñas ante distintos escenarios hidrológicos y de modificaciones en el uso de la tierra, de modo de promover pautas de conservación, y plantear posibles mecanismos de restauración de ambientes ribereños degradados para preservar sus servicios ecosistémicos. Además, estos mecanismos de atenuación natural sirven de base para el diseño de sistemas artificiales de tratamiento de efluentes de actividades productivas como tambos y feedlots, que generan gran cantidad de nutrientes.

### **Balance hídrico superficial como herramienta de gestión**

*Rosana Hämmerly,<sup>14</sup> Carlos Paoli,<sup>17</sup> Pablo Cacik<sup>17</sup> y Viviana Zucarelli<sup>17</sup>*

Para disponer de la evaluación de las disponibilidades de agua superficial y subterránea en una determinada subcuenca o sitio de aprovechamiento, con el fin de planificar y gestionar su uso, no basta determinar solo «cuánto se dispone», sino que se requiere también determinar «cuándo y con qué garantía se dispone». Por tal razón ya no basta con disponer de tablas y mapas con los valores medios mensuales y anuales de precipitación, evapotranspiración y escurrimiento, sino que es necesario conocer la evolución temporal de estos fenómenos y su variabilidad en términos probabilísticos. En ese marco, es importante desarrollar metodologías de balance hídrico superficial que permitan el uso del mismo como herramienta de gestión de recursos hídricos y su incorporación al balance hídrico integrado (UNESCO, 2006), en el que se considera la demanda que se debe satisfacer, que constituye el fin último.

Para ello, se desarrollaron dos líneas de investigación complementarias entre sí, a saber:

- Modelos de balance a paso de tiempo mensual. La finalidad es utilizar los modelos de balance como herramienta de monitoreo para los posibles cambios que se puedan presentar y también como herramienta de gestión de la disponibilidad y usos del agua, puesto que incorporan la variabilidad de los componentes en el período de ajuste.

---

<sup>14</sup> Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

- Estudio de la variabilidad de los componentes del balance hídrico, mediante el análisis de frecuencia regional con el método de momentos L (UNESCO, 2010), para los principales componentes: precipitación, evapotranspiración y escurrimiento.

## Metodología

Se adoptó el programa CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas), desarrollado por el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas de España (CEDEX, 2003), junto con la representación en SIG de los resultados. Se trata de un modelo matemático conceptual agregado, de simulación continua, con pocos parámetros, de paso mensual, que aplica el principio de continuidad y simula los principales procesos de transferencia de agua en el ciclo hidrológico considerando dos almacenamientos: suelo (zona no saturada) y acuífero (zona saturada).

Por su parte, para el análisis de la variabilidad temporal se trabajó con series de tiempo de precipitación mensual en 94 estaciones, datos de temperatura y meteorológicos para el cálculo de evapotranspiración potencial en 38 estaciones y datos de caudales mensuales en 47 estaciones hidrométricas. La zona de estudio comprendió las cuencas argentinas de los ríos Paraná y Uruguay, que se presentan en la Figura 4.11.1. El período de aplicación fue 1971–2010 (Hämmerly *et al.*, 2015).

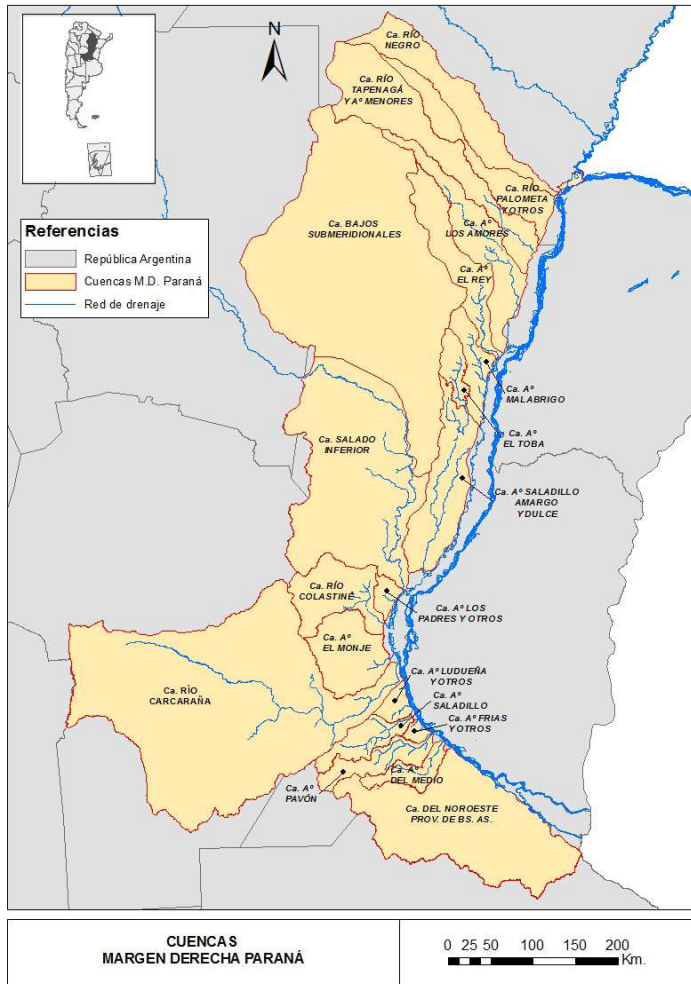


Figura 4.11.1.(a) Margen derecha de la cuenca del río Paraná.

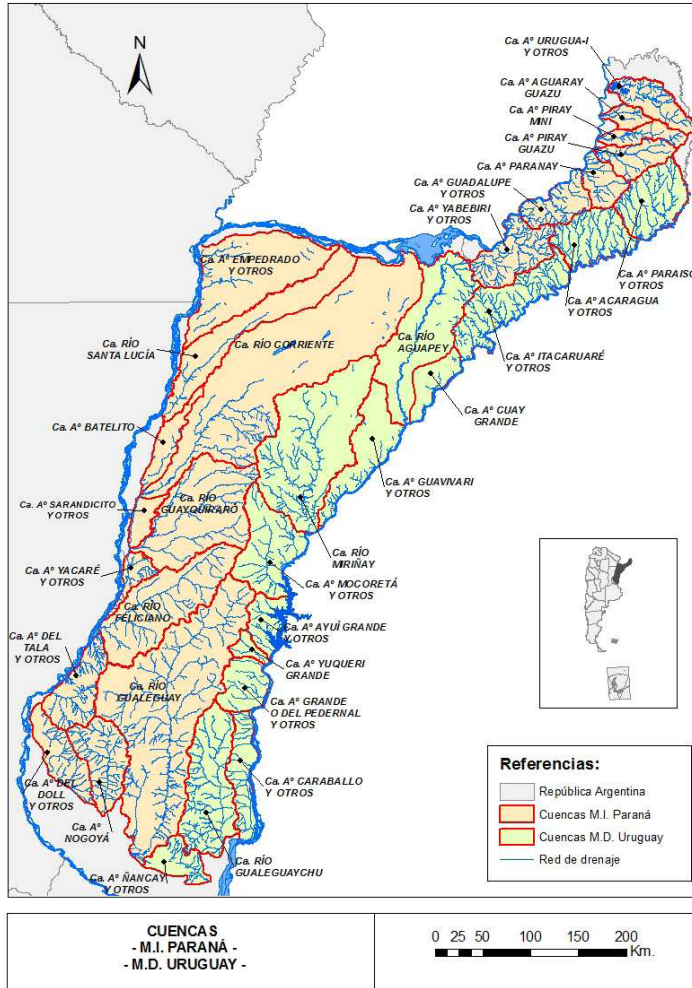


Figura 4.11.1.(b) Margen derecha del río Uruguay y margen izquierda del río Paraná.

Para el análisis de la variabilidad espacial se efectuó el balance hídrico en 36 cuencas aforadas en base a las cuales se simularon series de caudales mensuales en 32 cuencas no aforadas (Hämmerly *et al.*, 2016). Esto último constituye una importantísima herramienta de gestión que permitirá la asignación del recurso para diversos usos en cuencas en las cuales se desconocían los límites de intervención posible.

## Resultados obtenidos

Mediante este proyecto se han logrado los siguientes resultados:

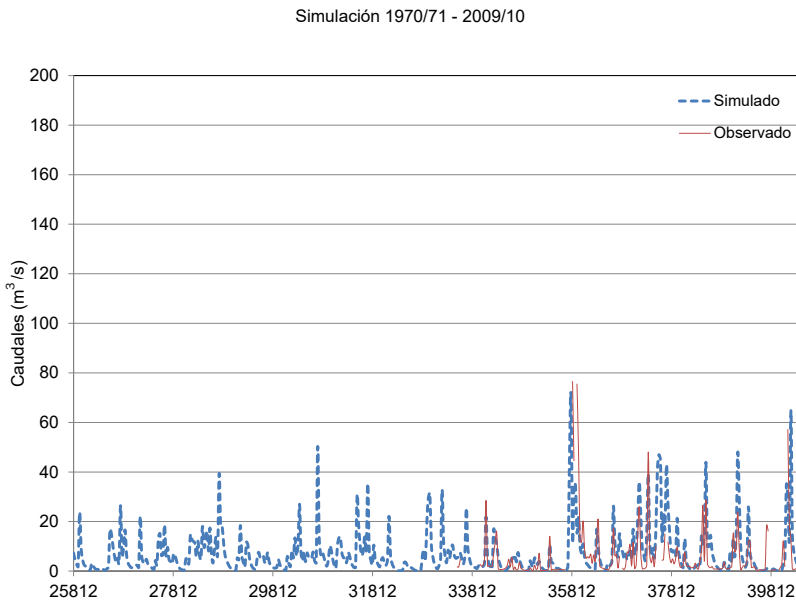
- Se han validado diferentes modelos de balance hídrico disponibles y sus condiciones de aplicabilidad para la región de estudio, siendo el modelo CHAC adecuado para representar las disponibilidades hídricas.
- Se ha mejorado la delimitación de las subcuencas argentinas de Cuenca del Plata y se ha actualizado la dinámica hídrica de las mismas, lo que constituye un significativo aporte a la hidrología de la región, sobre todo en las áreas de menores pendientes.
- Se logró disponer de una base de datos hidroclimáticos consistidos y analizados de más de 40 años a paso de tiempo mensual, valiosa base de información para futuros estudios hidrológicos.
- Se han determinado los campos de precipitación y de evapotranspiración mensual en la región de estudio.
- Se ha logrado disponer de un modelo de balance de paso de tiempo mensual en las subcuencas argentinas de Cuenca del Plata (aforadas y sin aforos) que servirá de base para futuros estudios con escenarios de cambio climático y el oportuno análisis de los cambios en la oferta hídrica.
- Se ha logrado disponer de curvas de duración de caudales en todas las subcuencas argentinas analizadas, de inapreciable valor sobre todo en las cuencas sin registros sistemáticos de caudales.

## Conclusiones

En base a los resultados mencionados, se considera que se dispone de herramientas fundamentales para que los tomadores de decisión, puedan hacer frente a los desafíos en materia de recursos hídricos, ya sea en situaciones de excesos o déficits y un adecuado manejo para la asignación de recursos en base a la oferta y la demanda. Disponer de caudales que fueron obtenidos mediante simulación en áreas sin aforo, así como la extensión de series de caudales en periodos faltantes para las cuencas aforadas, posibilita la construcción de curvas de duración de caudales, imprescindibles para la asignación de agua para diferentes usos en tiempo y espacio, y para la adopción de medidas de control de los recursos hídricos.

Se presenta el ejemplo de la cuenca Yuquerí Grande, en la provincia de Entre Ríos (Figuras 4.II.2 y 4.II.3) con la simulación para el periodo completo de análisis, logrando una extensión de la serie, y la curva de duración de caudales, respectivamente.

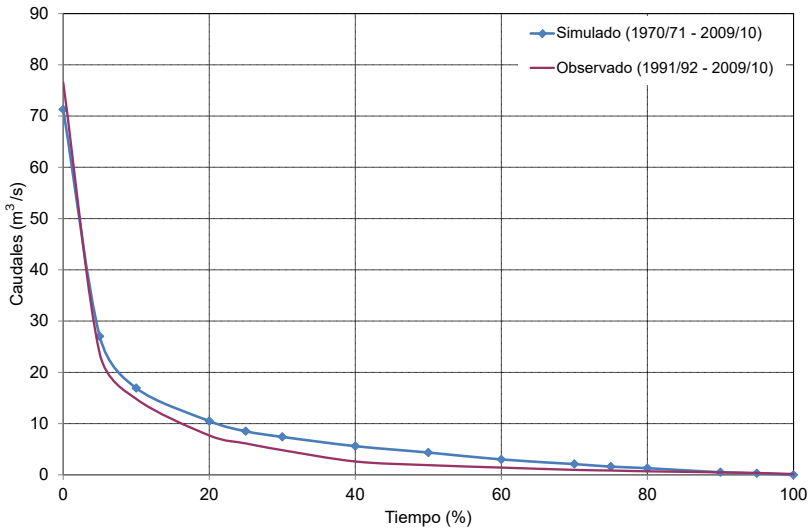
Se destaca la importancia de continuar estas modelaciones para evaluar las posibles consecuencias del cambio climático. El desafío es tratar de conocer y estimar cómo serán esos impactos en el futuro y qué medidas de remediación o adaptación se pueden tomar. La oferta de agua indudablemente se verá afectada por los cambios globales que sucedan y por lo tanto es conveniente disponer de herramientas que permitan conocer, entre otras cosas, la respuesta de las cuencas a los posibles escenarios climáticos disponibles.



**Figura 4.11.2.** Caudales observados y simulados para la cuenca Yuquerí Grande. Concordia.



#### Yuquerí Grande, Concordia



**Figura 4.11.3.** Curva de duración de caudales observados y simulados. Cuenca Yuquerí Grande.

## Referencias bibliográficas del capítulo 4

### Introducción

CEPAL (2000). Agua para el Siglo XXI para América del Sur, de la visión a la acción. Informe sobre la gestión del agua en la República Argentina. Calcagno, A.; Mendiburo, N. y Gavino Novillo, M. (Coord.). <https://www.cepal.org/samtac/noticias/documentosdetrabajo/6/23306/InAr00200.pdf>

### Variabilidad y cambio climático en la provincia de Santa Fe: observaciones y proyecciones futuras

Lovino, M. A.; Muller, O. V. (...) Baethgen, W. E. (2018a). Interannual-to-multidecadal Hydroclimate Variability and its Sectoral Impacts in northeastern Argentina, *Hydrology and Earth Systems Science*, 22, 3155–3174. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3155-2018>

Lovino, M. A., Müller, O. (...) Müller, G. V. (2018b). How have daily climate extremes changed in the recent past over northeastern Argentina? *Global and Planetary Change*. 168, 78–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.06.008>

- Lovino, M. A.; Muller, O. (...) Muller, G. V. (2018c). Evaluation of CMIP5 historical and present climate simulations in the core crop region of Argentina. *International Journal of Climatology*. 38, Issue S1, e1158–e1175. doi: 10.1002/joc.5441
- Lovino, M. A.; Müller, G. V. y Sgroi, L. C. (2019). Cómo ha cambiado la precipitación en la provincia de Santa Fe? *Revista de Investigaciones Agropecuarias* (en revisión).

## Identificación de eventos extremos y su incidencia en subsistemas acoplados zona no saturada–acuifero libre mediante la construcción de índices estandarizados

- Hao, Z.; AghaKouchak, A.; (...) Farahmand, A. (2014). Global integrated drought monitoring and prediction system. *Science Data*. 1: 140001. Published online 2014 March 11. doi: 10.1038/sdata.2014.1
- Lovino, M. A.; García, N. & Baethgen, W. (2014). Spatiotemporal analysis of extreme precipitation events in the northeast region of Argentina (NEA). *Journal of Hydrology*. 2, 140–158. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ejrh.2014.09.001>
- Lovino, M. A.; Müller, O. (...) Müller, G. V. (2018a). How have daily climate extremes changed in the recent past over northeastern Argentina? *Global and Planetary Change*. 168, 78–97. <https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2018.06.008>
- Lovino, M. A.; Muller, O. V. (...) Baethgen, W. E. (2018b). Interannual–to–multidecadal Hydroclimate Variability and its Sectoral Impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth Systems Science*, 22, 3155–3174. <https://doi.org/10.5194/hess-22-3155-2018>
- Sgroi, L. C. (2017). Modelación de variables hidroclimáticas de superficie y evolución de su comportamiento en eventos extremos secos (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional del Litoral.
- Sgroi, L. C.; Lovino, M. A. (...) Müller, G. V. (2021). Characteristics of droughts in Argentina's core crop region, *Hydrology and Earth System Sciences*, 25, 2475–2490. <https://doi.org/10.5194/hess-25-2475-2021>
- Venencio, M. V. (2000). Climate variability and water resources. *Sixth International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography* (pp. 308–311). 3–7 April 2000. Santiago, Chile.
- Venencio, M. V. y García, N. O. (2005). Impacto de las sequias en la recarga natural al acuifero libre. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 10(1), 1–12.
- Venencio, M. V. (2007). La recarga natural al acuifero libre y su vinculación con la variabilidad climática regional (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional de Córdoba.
- Venencio, M. V. y Villordo, A. J. (2011). El agua subterránea asociada a la actividad agropecuaria en el centro oeste de la provincia de Santa Fe (Primera Parte). En *VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano–Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea* (pp. 158–163). Salta (Argentina). 21 al 28 de octubre

## Efectos de la expansión de cultivos sobre la regulación hídrica y climática en Argentina

- Chen, F. & Dudhia, J. (2001). Coupling an advanced land surface–hydrology model with the Penn State–NCAR MM5 modeling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129(4), 569–585.
- Fisher, B.; Turner, R. K. & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision–making. *Ecological economics*, 68(3), 643653.
- García Collazo, M. A.; Panizza, A. y Paruelo, J.M. (2013). Ordenamiento Territorial de Bosques Nativos: resultados de la zonificación realizada por provincias del Norte argentino. *Ecología Austral*, 23(2), 97107.
- Gasparri, N. I. & Grau, H.R. (2009). Deforestation and fragmentation of Chaco dry forest in NW Argentina (1972–2007). *Forest Ecology and Management*, 258(6), 913921.
- Lee, S. J. & Berbery, E. H. (2012). Land cover change effects on the climate of the La Plata Basin. *Journal of Hydrometeorology*, 13(1), 84102.
- Lloyd–Hughes, B. & Saunders, M.A. (2002). A drought climatology for Europe. *International Journal of Climatology*, 22(13), 1571–1592.
- Lovino, M. A.; Muller, O. V. (...) Baethgen, W. E. (2018). Interannual–to– multidecadal hydroclimate variability and its sectoral impacts in northeastern Argentina. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(6), 3155–3174.
- McKee, T. B.; Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183. Boston, MA: American Meteorological Society.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina (MAYDS) (2016). Informe del Estado del Ambiente 2016. Pp. 454.
- Müller, O. V.; Berbery, E. H. (...) Ek, M. B. (2014). Regional model simulations of the 2008 drought in southern South America using a consistent set of land surface properties. *Journal of Climate*, 27(17), 6754–6778.

## Desarrollo metodológico para el modelado y monitoreo de la evapotranspiración utilizando diferentes fuentes de datos

- Bouchet, R. J. (1963). Evapotranspiration Reelle Et Potentielle Signification Climatique. *International Association of Science and Hydrology*, 62, 134–162.
- Carmona, F.; Holzman, M. (...) Bayala, M. (2018). Evaluación de dos modelos para la estimación de la evapotranspiración de referencia con datos CERES. *Revista de Teledetección*, 51, 87–98.
- Entekhabi, D.; Yueh, S. (...) Das, N. (2014). SMAP Handbook–Soil Moisture Active Passive: mapping Soil Moisture and Freeze/Thaw from space. National Aeronautic Space Administration.
- Girolimetto, D. y Venturini, V. (2013). Estimación de la evapotranspiración utilizando bandas del infrarrojo medio. *Revista de Teledetección*, 40, pp. 41–50.
- Granger, R. J. (1989). A complementary relationship approach for evaporation from non-saturated surfaces. *Journal of Hydrology*, 111, 31–38.

- Marini, F.; Santamaria, M. (...) Bausaldo, A. (2017). Estimación de la evapotranspiración real (ETR) y de evapotranspiración potencial (ETP) en el sudoeste bonaerense (Argentina) a partir de imágenes MODIS. *Revista de Teledetección*, 48, 29–41.
- Venturini, V.; Islam, S. & Rodríguez, L. (2008). Estimation of evaporative fraction and evapotranspiration from MODIS products using a complementary based model. *Remote Sensing of Environment*, 112, 132–41.
- Walker, E.; García, G. A. & Venturini, V. (2019a). Evapotranspiration estimation using SMAP soil moisture products and Bouchet Complementary evapotranspiration over Southern Great Plains. *Journal of Arid Environments*, 163(168), 34–40.
- Walker, E.; García, G. A. (...) Carrasco, A. (2019b). Regional evapotranspiration estimates using the relative soil moisture ratio derived from SMAP products. *Agricultural Water Management*, 216 (February), 254–63.

## Desarrollo de un algoritmo para determinar el contenido de humedad del suelo desde imágenes SAR

- Das, N. N.; Entekhabi, D. & Njoku, E.G. (2011). An algorithm for merging SMAP radiometer and radar data for high-resolution soil-moisture retrieval. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 49(5), 1504–1512.
- Exelis Visual Informations Solutions (2011). ENVI Image Analysis Software.
- Jackson, T. J.; Schmugge, T. J. & Engman, E. T. (1996). Remote sensing applications to hydrology: Soil moisture. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 517–530.
- Paloscia, S.; Pampaloni, P. (...) Santi, E. (2009). A comparison of algorithms for retrieving soil moisture from ENVISAT/ASAR images. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 47/9, 2991–2994.
- Piles, M.; Entekhabi, D. & Camps, A. (2009). A change detection algorithm for retrieving high-resolution soil moisture from SMAP radar and radiometer observations. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 54(12), 4125–4131.
- Wang, L. & Qu, J. J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Front. Earth Science China*, 3(2), 237–247. doi: 10.1007/s11707-009-0023-7

## Un datalogger energéticamente eficiente basado en código y hardware abiertos, su uso en una WSN para detectar parámetros ambientales

- Knight, C.; Davidson, J. & Behrens, S. (2008). Energy options for wireless sensor nodes. *Sensors*, 8, 8037–8066; doi: 10.3390/s8128037
- Lopez, E. P.; Vionnet, C. A. (...) Ferreira, C. G. (2020). A cost-effective redundant communication system for improving the reliability of a flood early warning system. *Journal of Hydroinformatics*, 22(4), 856–875, doi: <https://doi.org/10.2166/hydro.2020.216>

## La cuenca interprovincial de los Bajos Submeridionales y su funcionamiento hidroambiental, base para la gestión sustentable

- Heredia, J.; Rodríguez, L. (...) Díaz, E. (2018). Indicios isotópicos de circulación regional en el sistema hidrogeológico de los Bajos Submeridionales. En *XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*. Oct 2018, Salta Argentina.
- Sosa, D. (2012). El Agua, Excesos y Deficit en la Producción Agrícola de Secano y Pecuaria dentro de la Cuenca del río Salado (tesis inédita de doctorado). Universidad de La Coruna. España.
- Sosa, D.; Díaz, E. (...) Vergini, E. (2014). Los sistemas de flujos subterráneos en el norte de la provincia de Santa Fe, Argentina. En *2º Congreso Internacional de Hidrología de Llanuras*. Santa Fe, Argentina.
- Thalmeier, B.; Rodríguez, L. (...) Moreno Merino, L. (2018). Patrones de flujo regionales del Gran Chaco Argentino: región de los Bajos Submeridionales. En *XIV Congreso Latinoamericano de Hidrogeología*. Octubre 2018, Salta Argentina.
- Thalmeier, M. B.; Krohling, D. & Brunetto, E. (2021). The geomorphology and the Late Quaternary sedimentary record of the Salado/Juramento fluvial megafan of the Central Andes foreland basin (Chaco plain, Argentina). *Geomorphology*, 373, 107495, 23.
- Weizaga, E.; Rodríguez, L. (...) Díaz, E. (2019). Caracterización hidroquímica regional de las aguas de los Bajos Submeridionales, Gran Chaco, Argentina. En *Actas de la V Reunión Argentina de Geoquímica de la Superficie (12–14 junio 2019, La Plata)*. Asociación Argentina de Sedimentología.

## El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas rurales en el centro de la provincia de Santa Fe

- D'Elia, M.; Tujchneider, O. (...) Pérez, M. (2013). Groundwater recharge quantification for the sustainability of ecosystems in plains of Argentina. En Ribeiro, L.; Stiger, T. (...) Medeiros, T. (Eds.) Group. *Groundwater and Ecosystems*. IAH Selected. Papers on Hydrogeology, 18: 137–151. Leiden, Países Bajos: CRC Press/Balkema.
- Paris, M.; D'Elia, M. (...) Pacini, J. (2017). Wellhead protection zone for sustainable ground water supply. *Sustainable Water Resources Management Journal*. Springer, Alemania, Berlin. doi: 10.1007/s40899-017-0156-x
- Paris, M.; Tujchneider, O. (...) D'Elia, M. (2014). Protección de pozos de abastecimiento. Indicadores de la calidad del agua subterránea. *Revista Ciencia y Tecnología del Agua*, V (4), 1–12.

## El agua subterránea como condicionante para el desarrollo sostenible de áreas urbanas de la provincia de Santa Fe

- D'Elia, M.; Paris, M. (...) Fedele, A. L. (2011). Agua subterránea en áreas urbanas. En *Actas del VII Congreso Argentino de Hidrogeología y V Seminario Hispano-Latinoamericano Sobre Temas Actuales de la Hidrología Subterránea. Captación y Modelación de Agua Subterránea*. Organizado por el Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Salta, Argentina.
- D'Elia, M.; Blarasin, M. (...) Pérez, M. (2018a). Contaminación del agua subterránea en las cercanías del antiguo relleno sanitario. Ciudad de Santa Fe, Argentina. En García, R., et al. (Eds.). *El Agua subterránea: Recurso sin Fronteras: Química, calidad y contaminación del agua* (pp. 243–250). Salta, Argentina.
- D'Elia, M.; Paris, M. (...) Berlier, A. (2018b). Red de monitoreo de aguas subterráneas. Ciudad de Santa Fe, Argentina. En García, R., et al. (Eds.). *El Agua subterránea: Recurso sin Fronteras: Acuíferos transfronterizos. El agua subterránea y las ciudades. Planificación y gestión* (pp. 197–204). Salta, Argentina.
- Pagliano, M. L. y D'Elia, M. (2016). Evaluación de las relaciones hidráulicas e hidroquímicas entre un relleno sanitario y un sistema acuífero en un área de llanura. En *Actas IX Congreso Argentino de Hidrogeología y VII Seminario Hispano-Latinoamericano de Temas Actuales de la Hidrología Subterránea*. Organizado por el Grupo Argentino de la Asociación Internacional de Hidrogeólogos. Catamarca, Argentina.

## Procesos naturales de transformación de la calidad de agua freática en humedales ribereños

- Weizaga, E. A.; Ocampo, C. J. & Rodríguez, L. (2019). Hydrological and hydrochemical behavior of a riparian zone in a high-order flatland stream. *Environmental Monitoring and Assessment*, 191(1), 10.

## Balance hídrico superficial como herramienta de gestión

- Balance hídrico superficial como herramienta de gestión CEDEX. (2003). Manual del modelo CHAC. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Madrid, España.
- Hammerly, R.; Menajovsky, S. (...) Cioccale, M. (2015). Balance hídrico superficial de la Cuenca del Plata. En *XXVº Congreso Nacional del Agua*. Paraná, Entre Ríos.
- Hammerly, R.; Cacik, P. (...) Paoli, C. (2016). El uso de modelación a paso de tiempo mensual en cuencas no aforadas para el balance hídrico superficial de la Cuenca del Plata. En *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*. Lima, Perú.
- UNESCO (2006). Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integral por cuencas hidrográficas. *Documentos Técnicos del PHI-LAC* (4), 95
- UNESCO (2010). Guía metodológica para la aplicación del análisis regional de frecuencia de sequías basado en l-momentos y resultados de aplicación en América Latina. *Documentos Técnicos del PHI-LAC* (27), 77.

## Capítulo 5. Efectos del ambiente sobre la salud humana y animal

### Introducción

*Horacio Rodríguez*<sup>1</sup>

#### Factores determinantes de salud

El ser humano no es un ser aislado, sino que se encuentra inmerso en un medio con el cual interacciona de múltiples maneras. Este entorno no solo comprende el ambiente natural, sino también los ambientes seminatural y artificial generados por la actividad humana. En la interacción con estos ambientes participan distintos factores: físicos (temperatura, ruidos, radiaciones, etc.), químicos (presencia de plaguicidas, metales pesados, bifenilos policlorados, dioxinas y furanos, etc.), biológicos (presencia de bacterias, virus, protozoarios, toxinas, hongos, alérgenos, etc.) y psicosociales (estrés, tabaquismo, alcoholismo, conductas sexuales riesgosas, drogadicción y violencia, etc.) (Johnson-Walker y Kaneene, 2018).

Todos estos factores ambientales tienen gran repercusión sobre la salud de las poblaciones, constituyendo una serie de interacciones complejas entre las características individuales, los factores sociales y económicos y los entornos físicos que, al actuar de manera combinada, influyen sobre los niveles de salud de los individuos y las comunidades. La OMS define a estos factores determinantes de la salud como el «conjunto de factores personales, sociales, políticos y ambientales que determinan el estado de salud de los individuos y las poblaciones» (Glosario OMS, 1998).

Distintos estudios asignaron a los factores ambientales una contribución relativa cercana al 20 % en la mortalidad total de un país (Lalonde M, 1974; Mc Ginnis, 2002). Uno de los primeros escenarios descriptos en este sentido fue la situación de la población obrera en plena Revolución Industrial en Europa y en Norteamérica. En 1830, en Londres hubo un desarrollo masivo de fábricas, generadoras de una gran polución ambiental en coexistencia con una significativa población obrera a la que se le pagaba salarios paupérrimos, con un promedio de jornada laboral de más de 12 horas diarias. Las familias

---

1 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL. Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

obreras vivían en condiciones muy desfavorables, en viviendas con un alto grado de hacinamiento, sin agua potable y desagüe. Este conjunto de factores determinó que fueran víctimas de enfermedades como cólera, malaria y tuberculosis, llegando esta última a producir 4000 muertes anuales por cada millón de habitantes en Inglaterra y Gales (Villar Aguirre, 2011). De esta manera, la influencia del ambiente sobre la salud humana se basa en la interrelación dinámica de los factores ambientales con el individuo, los cuales pueden influir de forma negativa favoreciendo las condiciones para la aparición de enfermedades infecciosas o no infecciosas, bajo condiciones sociales, económicas y conductuales determinadas.

En los últimos años, el tema de los factores determinantes de la salud de las poblaciones se ha instalado con fuerza en las agendas sanitarias de la mayoría de los países y de los organismos internacionales. Concretamente, la OMS ha destinado estructuras específicas como el Departamento de Salud Pública, Medio Ambiente y Determinantes Sociales de la Salud ([https://www.who.int/phe/about\\_us/es/](https://www.who.int/phe/about_us/es/)), cuya función consiste en fomentar un medio ambiente más saludable, intensificar la prevención primaria e influir en políticas que busquen solucionar las causas remotas de las amenazas medioambientales a la salud. Este departamento busca formular y promover políticas preventivas basadas en el análisis científico detallado de bases de datos probatorios respecto de los determinantes ambientales y sociales de la salud humana. Por otro lado, teniendo en cuenta las inequidades persistentes y cada vez mayores en la sociedad global, la OMS estableció en 2005 la Comisión sobre Determinantes Sociales de la Salud, para ofrecer asesoramiento respecto a la manera de mitigarlas ([https://www.who.int/social\\_determinants/es/](https://www.who.int/social_determinants/es/)).

### *One Health*

Un principio básico en epidemiología es que la enfermedad no es un evento azaroso, sino que cada individuo de una población posee un conjunto único de características y de patrones de exposición (factores de riesgo) que determinan su susceptibilidad a la enfermedad. El concepto de *One Health* es coherente con esta idea, y nace en 2004 a partir del reconocimiento de que el 75 % de las nuevas infecciones que afectan a los seres humanos provienen del mundo animal. Así, para diseñar estrategias más eficientes para minimizar la aparición de enfermedades es necesario considerar que los factores de riesgo están en la interfase entre humanos, animales y ambiente. Una visión que no tenga en



cuenta las interacciones entre los componentes de esta tríada resultará en políticas públicas que fallarán en el objetivo de control de enfermedades y protección del ambiente (Johnson–Walker y Kaneene, 2018).

Teniendo en cuenta estos conceptos, este capítulo integra los aportes realizados por distintos grupos de investigación de la UNL sobre los efectos del ambiente sobre salud humana y animal.

## Investigaciones en UNL sobre ambiente y salud

Distintos grupos de la UNL llevan adelante líneas de investigación relacionadas con los efectos adversos que los factores ambientales pueden tener sobre la población humana y animal. El impacto de la exposición a algunas sustancias químicas presentes en el suelo, aire o agua como contaminantes (plaguicidas, bisfenol A, etc.), o también en forma natural (arsénico), es detallado en los subcapítulos 5.2, 5.3, 5.4 y 5.5. Por otro lado, en el subcapítulo 5.6 se describen los trabajos que fundamentan cómo la presencia de un ambiente enriquecido puede incidir en la prevención de enfermedades neurodegenerativas crónicas y cómo ciertas experiencias tempranas de la vida pueden alterar los sistemas cerebrales involucrados en el control del consumo de alimentos. En el subcapítulo 5.7 se detalla de qué manera distintos factores ambientales naturales, como temperaturas extremas, humedad elevada, velocidad del viento, topografía del terreno y la presión barométrica, pueden ser utilizados en favor del bienestar animal. Finalmente, en el subcapítulo 5.8, se analiza la legislación actual sobre materia ambiental. Este es un aspecto sumamente importante, dado que el conjunto de valores y normas de una sociedad puede influir de diferentes maneras sobre la estabilidad social y el reconocimiento de situaciones de vulnerabilidad, facilitando así la creación de medidas que reduzcan o eviten muchos de los potenciales riesgos para la salud y el bienestar de las poblaciones.

El nexo entre la salud humana y el ambiente ha sido reconocido desde hace mucho tiempo. Sin lugar a dudas, la salud humana depende de la voluntad y la capacidad de una sociedad para mejorar la interacción entre la actividad humana y su ambiente. Esto debe hacerse de manera que promueva la salud y prevenga la enfermedad, manteniendo el equilibrio y la integridad de los ecosistemas y evitando comprometer el bienestar de las futuras generaciones.

## Contaminantes ambientales en la provincia de Santa Fe y salud humana

Gabriela Fiorenza Biancucci,<sup>2</sup> Carlos Recce<sup>2</sup> y María Fernanda Simoniello<sup>3</sup>

La OMS se ha enfocado en evaluar la relación que existe entre enfermedad y ambiente, fundamentalmente en la enfermedad que se puede prevenir, centrándose en los factores de riesgo ambientales, fomentando medidas de salud preventivas a través de políticas, estrategias, intervenciones, tecnologías y conocimientos disponibles. Entre los factores que incluye, se encuentran las prácticas agrícolas y el acceso a agua segura (WHO, 2016). Ambas problemáticas forman parte de la agenda de prioridades en salud tanto a nivel nacional como provincial. El uso de plaguicidas ha seguido creciendo en las últimas tres décadas y el mercado de dichos productos se ha duplicado en los últimos 15 años, superando los 50 000 millones de dólares anuales en ventas (ONU, 2016). En Argentina, las transformaciones que ha sufrido el sector agrario vienen de la mano principalmente de un fuerte incremento en el uso de agroquímicos. El consumo de pesticidas ha aumentado un 900 % durante los últimos 23 años, mientras que el área cultivada solo un 70 %, junto con un incremento en el rendimiento de solo un 50 % (CASAFE, 2015). En este sentido, la OMS ha establecido desde los años setenta una clasificación de los plaguicidas por la peligrosidad que entrañan estos compuestos para la salud humana (WHO, 2009). Por su parte, la Organización de las Naciones Unidas aprobó en 2002 el documento llamado «Sistema globalmente armonizado de clasificación y etiquetado de sustancias químicas» (GHS, del inglés *Globally Harmonized System*), con el propósito de proveer un sistema para la clasificación de sustancias químicas, etiquetado y hojas de seguridad. Entre algunos de los principales objetivos de este sistema se pueden mencionar: mejorar la protección de la salud humana y el medio ambiente proporcionando un sistema internacionalmente comprensible para la comunicación de riesgos, y facilitar el comercio internacional de productos químicos cuyos peligros se hayan evaluado e identificado adecuadamente a nivel internacional (UNECE, 2017). Tanto las clasificaciones de la OMS como la del GHS se han basado en la dosis letal 50 % (DL50). La DL50 es la dosis calculada estadísticamente, de un agente químico o físico, que se espera que mate al 50 % de los organismos de una población bajo un conjunto de condiciones definidas. Entre ambas clasificaciones, Argentina ha adoptado la referida norma de la OMS, actualizada en 2009 para clasificar toxicológicamente los productos fitosanitarios mediante la Resolución del Servicio

---

2 Facultad de Ciencias Médicas, UNL.

3 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) 302/2012. (<http://www.senasa.gob.ar/normativas/resolucion-302-2012-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>).

Sin embargo, esta forma de categorización/clasificación no considera que los plaguicidas, tal y como se conocen, son en realidad productos formulados obtenidos mediante la mezcla de un conjunto de sustancias: principio activo, vehículos o cargas minerales, tensioactivos y solventes. Sumado a esto, es importante considerar que existe una gran dificultad para la identificación de los efectos individuales de los plaguicidas en las personas expuestas ambientalmente ya que, frecuentemente, se utilizan mezclas complejas, no solo por el uso de las formulaciones comerciales sino también por la aplicación de diferentes agentes químicos en forma secuenciada o simultánea. Además, otra dimensión del problema es que la exposición a los plaguicidas es variable y depende de la cantidad de productos químicos empleados, las diversas formulaciones que se utilizan en campo y la extensión de las áreas en las que se aplican, así como las condiciones ambientales donde los individuos se exponen. Estas características mencionadas hacen que, en general, se pueda englobar al comportamiento ambiental de estas sustancias dentro de lo que se conoce como «contaminación difusa», caracterizadas por no originarse en un punto definido, sino más bien en múltiples puntos, poco identificables. Este tipo de contaminación puede provocar situaciones especialmente preocupantes en el tiempo, ya que el ambiente puede ir cargándose de contaminantes, resultando afectadas extensas zonas (Novotny, 1999). Confirmando esta posible situación, diversos estudios se han enfocado en determinar las concentraciones de analitos de plaguicidas en la zona Litoral. En la cuenca del río Paraná, se han detectado los insecticidas más ubicuos endosulfán, cipermetrina, y clorpirifós en un rango de 0,004–6,62 µg/l en agua y 0,16–221,3 µg/kg de peso seco en sedimentos (Etchegoyen *et al.*, 2017). Con respecto a los herbicidas, Ronco *et al.* (2016) han cuantificado concentraciones crecientes hacia la desembocadura del río Paraná, siendo la concentración más alta en el río Luján con más de 3000 µg/kg de glifosato y 5000 µg/kg de su metabolito, el ácido aminometilfosfónico (AMPA). Los contenidos de glifosato en el suelo oscilaron entre 5,7 y 98,5 µg/kg, y de AMPA entre 6,6 y 1686,0 µg/kg (Soracco *et al.*, 2018), mientras que en muestras de lluvia se detectaron 1,24 a 67,3 µg/L de glifosato; 0,22 a 26,9 µg/L de atrazina, y entre 0,75 y 7,91 µg/L de AMPA (Alonso *et al.*, 2018). Glifosato y AMPA, fueron catalogados como contaminantes «pseudo-persistentes» en el agroecosistema de la pampa mesopotámica (Primost y col, 2017).

El contacto con pesticidas a largo plazo puede dañar la salud humana y perturbar la función de los diferentes órganos, incluyendo los sistemas nervioso,

endocrino, inmunológico, reproductivo, renal, cardiovascular y respiratorio. En este sentido, hay estudios que han vinculado a los pesticidas con la incidencia de enfermedades crónicas humanas, incluyendo cáncer, Parkinson, Alzheimer, esclerosis múltiple, diabetes, envejecimiento, enfermedad renal crónica y patologías cardiovasculares (Mostafalou y Abdollahi, 2013). Investigaciones realizadas en la región centro norte de la provincia de Santa Fe, por Lenardón *et al.* (2000) observaron que el 86 % de las muestras de leche materna recolectadas tenían residuos de, al menos, un plaguicida. Por su parte, Muñoz de Toro *et al.* (2006a; b), encontraron altos niveles de plaguicidas organoclorados en tejido adiposo cercano a tumores mamarios en mujeres de la misma región. En 2017, se demostró la presencia de atrazina en agua de lluvia (0,050 - 0,906 µg/L), y de glifosato (9,7 - 20,1µg/kg) y AMPA (6,6 - 105,8 µg/kg) en las muestras de suelo del trazado urbano de tres localidades rurales santafesinas: Candiotti (Departamento La Capital); La Pelada y Santo Domingo (Departamento Las Colonias). Además, se hallaron residuos de plaguicidas en plasma sanguíneo en un 62 % de las muestras de los pobladores incluidos (n=115), con incrementos significativos en el daño oxidativo al ADN y la peroxidación de lípidos. Dada la dinámica ambiental de estas sustancias y sus propiedades fisicoquímicas, estos podrían estar contaminando los recursos naturales y vincularse a posibles efectos en la salud a corto y a largo plazo (Dechiara, 2017).

Entre los grupos con períodos de exposición crónicos se encuentra el personal que elabora las mezclas en campo, los aplicadores y las poblaciones suburbanas (Bolognesi, 2003). En la provincia de Santa Fe, se ha demostrado el impacto de la exposición a los agroquímicos en personas ocupacionalmente expuestas vinculado a dos mecanismos tóxicos e interrelacionados entre sí, estrés oxidativo y daño genotóxico (Simoniello *et al.*, 2008; 2010, Porcel de Peralta *et al.*, 2011; Carballo y Simoniello 2012). Estos mismos mecanismos tóxicos se encontraron incrementados en pacientes con Lupus Eritematoso Sistémico (LES) provenientes de zonas rurales de la provincia de Santa Fe, en los que se demostró la exposición a mezclas de plaguicidas (Simoniello *et al.*, 2017). LES es una enfermedad autoinmune con alto predominio femenino, en edad reproductiva y caracterizado por una inflamación pronunciada y la producción de una variedad de autoanticuerpos. La patogénesis está influenciada por varios genes, por hormonas y por agentes medioambientales. Los resultados hallados sugieren que la exposición a plaguicidas exacerba los mecanismos desencadenantes de esta enfermedad autoinmune.

Por otra parte, la presencia de arsénico (As) en el ambiente es un problema de salud pública debido a que se trata de un evento de alta frecuencia que ha sido detectado en distintos países entre los que se encuentra Argentina. El As

fue clasificado por la *International Agency for Research on Cancer* (IARC), como un agente carcinogénico para humanos con base en estudios epidemiológicos que relacionan la ingestión de As en el agua de bebida y cáncer en la piel. En los últimos cincuenta años los niveles aceptables de As en el agua de bebida se han reducido desde 120 hasta 10 µg/l, valor recomendado por la OMS y adoptado con fuerza de ley en EE. UU. y Europa (EPA 40 CFR). Las aguas subterráneas de la provincia de Santa Fe contienen de modo natural As en diferentes concentraciones, y el 26 % de la población vive en regiones cuya concentración de As en agua de bebida es superior a las recomendaciones de la OMS (CONAPRIS, 2006). Diferentes estudios han demostrado que la ingestión de As ha sido definitivamente vinculada a aumento de la incidencia de cáncer en pulmón, vejiga, piel, riñón, hígado y, potencialmente, en próstata. La aparición de lesiones dérmicas relacionadas al As es considerada una alerta temprana de posible desarrollo subsecuente de cáncer en los órganos internos mencionados. Además, existe una serie de efectos no carcinogénicos que están vinculados a la exposición en el agua de bebida, incluyendo lesiones en la piel, enfermedad cardiovascular, efectos neurológicos en niños e incluso diabetes (ATSDR, 2007).

En Argentina, se han reportado niveles de As en agua de bebida de varias provincias y regiones, entre las que se encuentra una extensa zona de la provincia de Santa Fe, con un amplio rango de concentración. Sin embargo, en estudios previos en la provincia de Santa Fe, no se encontraron casos de afectación dérmica ni daño genotóxico.

Recientemente, se ha iniciado un biomonitoreo con el objetivo de valorar el estado de salud de poblaciones rurales de la región centro de la provincia de Santa Fe con cantidades variables de As en agua. El trabajo incluyó 308 voluntarios que aceptaron participar mediante la firma del consentimiento informado, pertenecientes a siete localidades del departamento Castellanos, Las Colonias y La Capital. Se les realizó una entrevista y se valoró el estado nutricional. Se evaluaron cambios bioquímicos a través de hemograma, alteraciones en hematíes y sus patrones de agregación, glucemia, uremia, uricemia, colesteroemia, creatininemia y creatininuria, junto a marcadores de daño genotóxico. Los resultados preliminares muestran que, a pesar de tener acceso a agua proveniente de plantas de osmosis inversa, con contenidos de trazas de As, un 35 % declaró en la encuesta que sigue consumiendo agua de pozo con contenidos variables de As y solo un 22 % consume exclusivamente agua segura. El resto de los participantes sigue utilizando el agua con As para infusiones o para cocinar sus alimentos. Esto explica que el 50 % de las muestras analizadas contienen As en orina (30 a 328 µg As/g creatininuria). Los participantes

no cumplen los requerimientos nutricionales de micronutrientes antioxidantes (frutas y verduras), aunque consumen carnes y lácteos con una frecuencia diaria en el 62 % de los casos. Esto les asegura un consumo adecuado de proteínas que podría convertirse en un factor protector, ya que se ha sugerido que las personas con dietas deficitarias en proteínas son más susceptibles que otras al cáncer causado por AS (Steinmaus *et al.*, 2005). No se detectaron cambios en los marcadores hematológicos. Los resultados del daño oxidativo al ADN observados en los participantes incluidos en este estudio muestran la relación entre AS y alteraciones en la fragmentación del ADN. Los resultados fueron comunicados a la población en estudio y al personal de salud de las siete localidades incluidas, para generar acciones en salud.

Una posible explicación para las discrepancias observadas podría encontrarse en las diferencias nutricionales, sociales y económicas de las poblaciones argentinas estudiadas, y en las diferencias en las dosis y el tiempo (CON-APRIS, 2006). Sin embargo, los contenidos de AS son de origen geológico y pueden modificarse con el tiempo, o pueden intervenir nuevas covariables que justifican el biomonitoreo constante de poblaciones expuestas a sustancias químicas para reevaluar los riesgos en salud y además proporcionar información para la prevención de las patologías relacionadas, evaluación de riesgos, y posibilidades de intervención

## Recomendaciones

- Considerando las disparidades en el acceso a la atención médica de las personas que habitan áreas rurales de la provincia de Santa Fe sería importante que desde las instituciones oficiales se promuevan investigaciones incluyendo biomarcadores de efecto que permitan detectar tempranamente cambios en la salud de personas expuestas a contaminantes ambientales.
- Resulta fundamental transmitir las consecuencias vinculadas a la salud que pueden surgir de la exposición a plaguicidas y/o AS, informando sobre la toxicidad de estos compuestos, los tipos de intoxicación, las vías de ingreso al organismo y las recomendaciones ya establecidas internacionalmente.
- Esta información podría transmitirse mediante programas que permitan la comunicación y fortalezcan la educación, para minimizar los riesgos en salud de las poblaciones potencialmente expuestas.

## **Efecto del glifosato y sus formulados comerciales sobre el desarrollo de órganos reproductores y la fertilidad**

*Enrique Hugo Luque<sup>4</sup> y Paola Inés Ingaramo<sup>4</sup>*

### Generalidades

Uno de los debates científicos actuales refiere a las consecuencias sobre la salud humana y de los animales a la exposición a agroquímicos que contaminan el ambiente. Varios de estos agroquímicos han sido clasificados como Perturbadores Endócrinos (PE) porque simulan el accionar de las hormonas y pueden alterar el desarrollo de órganos y tejidos. En ovinos, porcinos y bovinos se han demostrado alteraciones reproductivas que serían debidas a la exposición a agroquímicos y que afectan los rendimientos económicos (Magnusson, 2012; Sweeney *et al.*, 2000). El alto índice de pérdidas embrionarias en humanos y animales (Macklon *et al.*, 2002) sugiere defectos en el desarrollo del tracto reproductor que podrían ser debidos a la exposición a PE en períodos organizacionales críticos (i.e.: neonatal o posnatal temprano) de gran sensibilidad a los efectos de estos compuestos químicos con actividad hormonal. Los herbicidas a base de glifosato (HBG) son de uso masivo en Argentina y en otros países agrícola-ganaderos. Si bien hay controversias, el glifosato y sus formulados pueden clasificarse como PE con posibles efectos adversos en la salud humana y animal. Para investigar esta hipótesis es necesario realizar estudios en modelos animales, que serán de gran relevancia para Argentina y la región, porque: 1) definirán si el glifosato y sus formulados son PE, 2) determinarán los niveles de exposición en animales de interés zootécnico, 3) describirán los efectos adversos en animales de laboratorio y de interés zootécnico, 4) analizarán los resultados obtenidos en modelos animales y su repercusión para los seres humanos.

### Aportes del grupo de investigación a la problemática planteada

#### Animales de laboratorio

En roedores, la susceptibilidad a agroquímicos con actividad hormonal que alteran el desarrollo del útero y también la fertilidad, ocurre durante los períodos neonatal y perinatal. Debido a esto, se propuso evaluar en un modelo ani-

---

<sup>4</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL. Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

mal (ratas de la cepa Wistar) tratadas con dosis bajas de HBG (2 mg/kg/día), los efectos en el útero y en la fertilidad. La exposición posnatal durante siete días a HBG afectó la expresión de proteínas que regulan el normal desarrollo del útero y su histomorfología (alta incidencia de hiperplasia epitelial) (Guerrero Schimpf *et al.* 2017). Las ratas tratadas neonatalmente con HBG, cuando quedaron preñadas tuvieron problemas durante la gestación, los sitios uterinos donde se implantan los embriones fueron anormales, con un incremento de muertes embrionarias (Ingaramo *et al.*, 2017; Ingaramo *et al.*, 2016). También se demostró que las ratas tratadas con HBG presentan una sensibilidad aumentada en sus órganos reproductivos a la administración exógena de hormonas esteroides como el estradiol: en el útero de estos animales observamos cambios histomorfológicos y moleculares asociados con hiperplasia uterina (Guerrero Schimpf *et al.* 2018). La exposición a estos compuestos PE, como los agroquímicos, en hembras durante la gestación también puede alterar la funcionalidad y el desarrollo de los órganos reproductivos de los fetos. Por ello, investigamos los efectos de la exposición a HBG, administrado a través del agua de bebida (350 mg/kg/día) a madres durante la gestación (F0), con relación a la fertilidad de sus hijas (F1) y de sus nietas (F2). En las hijas (F1) se observó menor número de embriones implantados junto con cambios epigenéticos en el gen del REA (Lorenz *et al.*, 2019). En las nietas (F2) de las madres tratadas con HBG se observaron trastornos congénitos junto con menor peso y tamaño de los fetos (Milesi *et al.*, 2018). Los resultados que obtuvimos en las hijas (F1) y nietas (F2) cuando las madres (F0) fueron expuestas a HBG durante la gestación, demuestran que se inducen alteraciones y malformaciones en el desarrollo embrionario y fetal que son definidos como transgeneracionales explicados por modificaciones epigenéticas en regiones del genoma.

#### Especie de interés zootécnico, *Ovis aries*

Los animales de interés zootécnico, y dentro de estos los ovinos, por sus condiciones de cría «a campo» pueden estar expuestos a altos niveles de agroquímicos: aguas, suelos y sembrados contaminados con HBG. Por ello, desarrollamos un modelo experimental de corderas (Corriedale cruza con Hampshire Down) expuestas a baja dosis de HBG durante los primeros 15 días posnatales, para investigar qué ocurre en el útero y ovario de las corderas a los 45 días de edad. Investigamos los valores circulantes de glifosato y ácido aminometilfosfonico (AMPA) (principal metabolito del glifosato) en las corderas tratadas con HBG; 30 días posteriores a la última administración del herbicida los niveles séricos eran no detectables. Se compararon los resultados del tratamiento



con HBG usando dos vías de exposición, oral y subcutánea, siendo los efectos observados en el ovario y el útero equivalentes en ambos grupos. Tanto en el ovario como el útero de las corderas tratadas el cambio más significativo y consistente fue la proliferación celular de células de los folículos y de diferentes tejidos del útero. Para el ovario demostramos cambios en la expresión de genes que controlan el desarrollo folicular (*Gdf9* y *Fshr*) (Alarcon *et al.*, 2019).

## Conclusiones

Nuestros resultados demuestran que la exposición a HBG, en períodos críticos del desarrollo en modelos animales, interfiere con la diferenciación funcional del útero y el ovario afectando negativamente parámetros relacionados con la eficiencia reproductiva de la hembra (Ingaramo *et al.*, 2020). Se ha demostrado que en Argentina los niveles de glifosato que contaminan el ambiente son más altos que los publicados para otros países. En este contexto, es importante resaltar que los experimentos que realizamos en los modelos animales utilizamos dosis bajas de un herbicida a base de glifosato, tratando de semejar las condiciones ambientales. Toda esta información genera preocupación debiendo ser una alerta para la salud pública y para el cuidado del medio ambiente. Los organismos de control deben evaluar con mayor precisión los límites de exposición permitidos con estos agroquímicos. Se hace muy necesario investigar en profundidad los efectos de la exposición y el impacto de los agroquímicos en todas las especies expuestas, incluyendo las de interés zootécnico y la población humana.

## Recomendaciones

El uso del glifosato como herbicida está aprobado en 160 países; sin embargo, varios países están incorporando restricciones a su uso. En 2019, Austria se convirtió en el primer miembro de la Unión Europea (UE) en prohibir el uso del glifosato, hay restricciones vigentes en la República Checa, Italia y Holanda. Francia lo está eliminando gradualmente y en 2023 tendrá prohibición total. En Canadá se ha prohibido el uso público y privado del glifosato para el tratamiento de las malezas. En Dinamarca se prohíbe el uso de glifosato en los cultivos posemergentes para evitar residuos en los alimentos; además, se ha recomendado el cambio a productos químicos menos tóxicos. En 2019 Alemania implementa una «estrategia de reducción sistémica» prohibiendo la pulverización con glifosato en jardines domésticos y en los bordes de las tierras de

cultivo. En Argentina, más de 400 pueblos y ciudades han aprobado medidas que restringen el uso de glifosato. En Argentina no existe una Ley nacional de agrotóxicos con aplicación en todo el territorio, solo hay normativas de los gobiernos provinciales. Para reducir el impacto de la contaminación ambiental sería recomendable una Ley que regule el uso de todos los agrotóxicos (incluyendo el glifosato) a nivel nacional. Las exposiciones continuadas en aguas/suelos en concentraciones superiores a 0,7 mg/l pueden causar efectos adversos en seres humanos y animales. Por lo tanto, se deberían restringir las fumigaciones en áreas cercanas a zonas habitadas por animales y la población general, así como también promover el reemplazo por sustancias menos tóxicas.

### **Impactos de la agroindustria sobre la salud ambiental de los anfibios del centro este de Argentina en el contexto del desarrollo sustentable**

*Rafael C. Lajmanovich*<sup>5</sup> y *Paola M. Peltzer*<sup>5</sup>

#### Problemáticas y desafíos actuales

La conservación de la naturaleza no puede quedar aislada de las dimensiones ambiental, social e histórica. Particularmente, las provincias de la región pampeana han tenido una transformación sin precedente de la agricultura, que comenzó en el año 1996 con la soja *Roundup-Ready*<sup>®</sup> (RR). Desde entonces, se consolidó en el país el sistema productivo agroindustrial basado en Organismos Modificados Genéticamente (OMG), llegándose a tasas de deforestación hasta seis veces más altas que el promedio mundial, se talaron más de 1 000 000 ha de bosques nativos. A la vez, este modelo agrícola se sustenta en la aplicación creciente de agroquímicos que ocasionan numerosos conflictos socioambientales y tensión entre los saberes académicos y los movimientos sociales (Arancibia *et al.*, 2018). Sectores académicos hegemónicos (alentados activamente a promover la expansión agroindustrial y tecnológica incluso desde las propias universidades y agencias de promoción científica) han entrado en conflicto con organizaciones ambientales (ONGs) y movimientos de vecinos afectados por agroquímicos. La conjunción de estos escenarios tiene su corolario en numerosas demandas civiles y penales suscitadas en distintas provincias, principalmente en Córdoba, Santa Fe, Entre Ríos y Buenos Aires. Por estas razones, en los últimos años se gestó la idea de la «falacia del desarrollo sustentable» para refutar esta promesa de bienestar de

---

<sup>5</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL (CONICET-UNL).

las sociedades, basada en las tecnologías y el mercado, que haría crecer las economías, reduciendo la pobreza sin alterar la naturaleza. Sobre esto último, la revista *Nature* en su editorial de julio de 2010 se pregunta ¿Cómo alimentar a un mundo hambriento? y admite que la ciencia y la tecnología, por sí mismas, no son una panacea para liberar a la humanidad del hambre, ya que su causa es la pobreza, no la falta de producción de alimentos (Anonymous, 2010). Al considerar el eje temático de este libro son necesarias y urgentes las acciones de conservación de los bienes naturales comunes como, por ejemplo, la biodiversidad de anfibios, debido a que estos organismos son el grupo de vertebrados mayormente impactado por la agricultura y sus actividades a nivel mundial (Tanentzap *et al.*, 2015).

#### Aportes y antecedentes del grupo sobre la problemática planteada

Recientemente, expertos argentinos en herpetología señalaron diez amenazas para los anfibios, principalmente, la pérdida de hábitat por conversión de áreas naturales en zonas agrícolas, la desecación de humedales y la contaminación química (Peltzer *et al.*, 2018). Es así que los integrantes del Laboratorio de Ecotoxicología (EES-FBCB) son pioneros en considerar el impacto ecotoxicológico de la agroindustria sobre los anfibios de Argentina. En el año 2001 realizaron los primeros estudios del país sobre el efecto de la fragmentación y la pérdida de hábitats producidos por la agricultura en las provincias de Santa Fe y Entre Ríos (Lajmanovich y Peltzer 2001; Peltzer *et al.*, 2003), contando a la fecha con numerosas publicaciones internacionales referidas al impacto de los agroquímicos usados en Argentina (estudios de laboratorio, mesocosmos y campo) que están disponibles en <http://anfibios-ecotox-conser.blogspot.com/>. De estas investigaciones se pueden destacar la inducción de apoptosis en células nerviosas que produce la cipermetrina (Izaguirre *et al.* 2000), el efecto genotóxico del endosulfán (Lajmanovich *et al.*, 2005a) e inhibitorio del fenitrotión y clorpirifos en los niveles de actividad de marcadores enzimáticos (B-esterasas, Lajmanovich *et al.* 2009), y un trabajo precursor sobre los efectos teratogénicos del Roundup® para el desarrollo de los vertebrados (Lajmanovich *et al.*, 2003). Además, registraron los primeros datos del país sobre residuos de plaguicidas en grasa y vísceras en anfibios (Lajmanovich *et al.*, 2005b). También detectaron casos de anfibios con malformaciones en áreas predominantemente agrícolas, logrando recopilar y caracterizar el primer catálogo sobre malformaciones para Sudamérica (Peltzer *et al.*, 2011). Han conseguido determinar in situ las respuestas biológicas y bioquímicas

de las larvas de anfibios regionales en los ambientes agrícolas con altos grados de eutrofización (Peltzer *et al.*, 2008), y han demostrado cómo los ambientes agroindustriales contaminados con nitrógeno, fósforo, distintos metales (Hg, Cr, Al) y herbicidas (por ejemplo, 2,4 D) producen retardo o aceleración del crecimiento (Curi *et al.*, 2019). Por otra parte, describieron los efectos de contaminantes emergentes que genera la agroindustria, principalmente medicamentos de uso veterinario que se emplean a gran escala en los criaderos de carne aviar, porcina y vacuna (Peltzer *et al.*, 2017; 2019). Asimismo, llevaron a cabo una inédita evaluación sobre la biotoxicidad para las larvas de anfibios del insecticida biológico que utiliza una bacteria Gram + *Bacillus thuringiensis* (o Bt) que produce endotoxinas, también denominadas como «toxinas Bt» o «proteínas cry» (Lajmanovich *et al.*, 2015). Estos datos permitieron valorar el riesgo ecotoxicológico a la que organismos no blancos quedan expuestos luego de estas aplicaciones, para controlar vectores de enfermedades conocidas como el dengue, o luego de consumir alimentos OMGs como arroz, maíz o soja-Bt (Lajmanovich *et al.*, 2017).

## Conclusiones

Del análisis de los antecedentes aportados, que abarcan estudios realizados durante más de 20 años y su integración con las problemáticas socioambientales generadas por la agroindustria, se puede arribar a las siguientes conclusiones. Los agroquímicos mayormente utilizados resultan tóxicos para los anfibios produciendo inhibición de enzimas, alteración del sistema inmune y antioxidante, genotoxicidad, modificaciones comportamentales en la natación en larvas y en la alimentación en adultos; además de malformaciones externas y modificaciones durante la organogénesis de vísceras, gónadas, sistema osteocondral e hyobranquial, sistema nervioso (apoptosis del telencéfalo) y corazón (asimetrías y patologías en el ritmo cardíaco). De las numerosas evaluaciones y trabajos de campo realizados, se puede afirmar que el avance de los cultivos industriales, acompañado de la intensa deforestación de bosques nativos, uso de químicos tóxicos, bioinsecticidas, eutrofización y cambios en la funcionalidad estructural de los ecosistemas, han producido impactos deletéreos sobre las poblaciones de la mayoría de las poblaciones naturales de anfibios regionales.

## Recomendaciones

De acuerdo a lo expresado se recomienda:

- La urgente recategorización y mayor control social (a través de evaluaciones independientes y no por los informes aportados por las propias empresas fabricantes o instituciones gubernamentales con intereses contrapuestos) de los químicos y biotecnologías utilizadas.
- La realización de estudios y seguimiento en el tiempo de las poblaciones silvestres afectadas.
- Afianzar las relaciones de los campesinos con los sistemas científicos y tecnológicos que consideren a la producción agroecológica como una alternativa a la agricultura industrial.
- Comenzar a caracterizar los riesgos de este sistema agroindustrial con una visión «multidimensional» (incluyendo las dimensiones social, económica y ambiental, Sarandon *et al.*, 2006) y «sistémica» reconociendo a la economía verde y sustentabilidad de forma dinámica (Spiaggi *et al.*, 2013) para conservar los bienes y servicios ambientales, *disminuyendo el uso de la tecnología* y que preserve los derechos de la naturaleza, para asegurar *las necesidades de las actuales generaciones, sin comprometer a las futuras*.
- Considerando las disparidades en el acceso a la atención médica de las personas que habitan áreas rurales de la provincia de Santa Fe sería importante que desde las instituciones oficiales se promuevan investigaciones incluyendo biomarcadores de efecto que permitan detectar tempranamente cambios en la salud de personas expuestas a contaminantes ambientales.
- Resulta fundamental transmitir las consecuencias vinculadas en la salud que pueden surgir de la exposición a plaguicidas. Informando sobre la toxicidad de estos compuestos, los tipos de intoxicación, las vías de ingreso al organismo y las recomendaciones ya establecidas internacionalmente.
- Esta información podría transmitirse mediante programas que permitan la comunicación y fortalezcan la educación, para minimizar los riesgos en salud de las poblaciones potencialmente expuestas.

## **Estrógenos ambientales y desarrollo y diferenciación mamaria**

*Gabriela A. Altamirano,<sup>6</sup> Ayelén L. Gomez<sup>6</sup> y Laura Kass<sup>6</sup>*

Tal como ya se ha descripto antes (ver 5.3), en los últimos 60 años se ha evidenciado la presencia masiva de diversos compuestos químicos en el medio ambiente, como resultado de la acción antropogénica, los cuales presentan una inesperada acción de perturbación endócrina (Luque *et al.*, 2018). La glándula mamaria es un órgano cuyo desarrollo y diferenciación depende de un correcto balance hormonal (Fendrick *et al.*, 1998, Neville *et al.*, 2002). La leche, en la mayoría de las especies, es la única fuente de alimentación del recién nacido, por lo tanto, debe contener todos los nutrientes esenciales para su normal crecimiento y desarrollo. Los requerimientos nutricionales varían considerablemente según la especie, la tasa de crecimiento y/o la tasa metabólica de las crías (Collier, 1999). Sin embargo, la composición de la leche depende, por un lado, de un correcto desarrollo alveolar, diferenciación bioquímica y estructural de las células alveolares y la síntesis y secreción de los constituyentes de la leche (Akers, 1999, Brisken y Rajaram, 2006) y por otro, del medio ambiente, edad y dieta de la madre (Collier, 1999). Cualquier alteración producida en estos procesos por la exposición a compuestos con actividad hormonal puede resultar en una baja en la calidad nutricional de la leche.

Bisfenol A es un perturbador endocrino que es utilizado en la manufactura de policarbonatos plásticos y resinas epoxi, pesticidas, productos antioxidantes, selladores dentales y barnices que, por exposición al calor, se libera de los envases plásticos de bebidas y alimentos, de mamaderas y de la pintura que recubre el interior de las latas de conserva (Rubin, 2011). Después de la ingesta, se estima que bisfenol A es rápidamente metabolizado y excretado en la orina (Vandenberg *et al.*, 2010). Además, también se han encontrado concentraciones detectables de bisfenol A en el tejido placentario, líquido amniótico (Takahashi y Oishi, 2000, Engel *et al.*, 2006), y en leche materna (Ye *et al.*, 2006), lo que sugiere que la exposición puede ocurrir tan tempranamente como durante el período de la periconcepción, la gestación y lactancia.

---

<sup>6</sup> Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL. Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

## Influencia de la exposición in utero a bisfenol A sobre el desarrollo de la glándula mamaria

En esta línea de investigación, se analizaron ratas (modelo animal de carcinogénesis mamaria por excelencia) el efecto de la exposición intrauterina a bisfenol A, analizando si el tratamiento con este compuesto es un factor predisponente para el desarrollo de lesiones preneoplásicas mamarias y/o si aumentaba la susceptibilidad a un carcinógeno químico. Los resultados en ratas hembra demostraron que la exposición *in utero* a bisfenol A provoca adelantamiento de la pubertad, desarrollo de conductos hiperplásicos (lesiones preneoplásicas) y alteraciones en el estroma mamario y en el proceso de angiogénesis en este órgano (Durando *et al.*, 2007, Durando *et al.*, 2011). Por otro lado, las ratas hembra expuestas *in utero* a bisfenol A resultaron ser más susceptibles a la acción de un carcinógeno químico, evidenciado por la aparición de tumores de mama cuando fueron expuestas a cantidades bajas del carcinógeno (Durando *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta que la incidencia de cáncer de mama en los hombres se ha incrementado en las últimas décadas (Hodgson *et al.*, 2004, Speirs y Shaaban, 2009, White *et al.*, 2011), y que se ha descrito la presencia de pacientes con cáncer de mama de varón en la región Litoral (Muñoz de Toro y Luque, 1997), se decidió evaluar también los efectos de la exposición a bisfenol A en la glándula mamaria de ratas macho. La exposición perinatal a bisfenol A disminuye la elongación ductal y el número de estructuras terminales en la glándula mamaria de ratas macho peripuberales y modifica la expresión del receptor de andrógenos. Las alteraciones morfológicas y de diferenciación observadas en la glándula mamaria de los machos podrían deberse a modificaciones en la vía androgénica inducidas por bisfenol A (Kass *et al.*, 2015), y fundamentalmente demuestran que es un órgano sensible a la acción de perturbación endócrina de compuestos hormonalmente activos.

## Efectos de la exposición perinatal a bisfenol A sobre el desarrollo de la glándula mamaria en ratas bajo terapia estrogénica

En mujeres posmenopáusicas, la terapia hormonal de reemplazo se utiliza para aliviar los síntomas generados por la menopausia (Sassarini y Lumsden, 2015). Sin embargo, cuanto más tiempo se exponga la glándula mamaria a los efectos de las hormonas esteroideas ováricas se incrementa el riesgo de desarrollar cáncer de mama (MacMahon *et al.*, 1973). Por lo tanto, se propuso evaluar en animales de mediana edad sometidos a terapia con estradiol

los cambios producidos en la glándula mamaria y los efectos a largo plazo del tratamiento perinatal con bisfenol A. Nuestros resultados demuestran que la glándula mamaria de animales de mediana edad es predominantemente una estructura túbulo–alveolar y que el tratamiento con estradiol indujo la dilatación de conductos y alveolos y el desarrollo de estructuras lóbulo–alveolares y quísticas asociado a un mayor índice de proliferación celular. Podemos concluir que la exposición perinatal a bisfenol A incrementa la incidencia de hiperplasias ductales y lobulares atípicas en los animales expuestos a la terapia estrogénica (Gomez *et al.*, 2017), sugiriendo una mayor predisposición al posterior desarrollo de lesiones neoplásicas.

### Efectos de la exposición a bisfenol A sobre la organogénesis de la glándula mamaria y la producción láctea

Tal como detallamos en el ítem 5.5.1, previamente demostramos que la exposición *in utero* a bajas dosis de bisfenol A perturba la histoarquitectura de la mama e incrementa la susceptibilidad del órgano a desarrollar tumores inducidos por carcinógenos químicos. Sin embargo, la funcionalidad de la glándula mamaria ¿se ve modificada por el tratamiento con bisfenol A? De acuerdo con resultados recientes del grupo, la exposición perinatal (gestación + lactancia) a bisfenol A produce un retraso en el desarrollo mamario durante la gestación, modifica la expresión de proteínas de la leche; especialmente  $\beta$ -caseína que se encuentra disminuida al final de la preñez en la glándula mamaria y en la leche, induce alteraciones en la producción láctea y el contenido lipídico de la leche durante la lactancia, siendo las modificaciones epigenéticas uno de los principales mecanismos de acción del bisfenol A en la glándula mamaria (Kass *et al.*, 2012, Altamirano *et al.*, 2015, Altamirano *et al.*, 2017).

### Conclusión

En general, los resultados obtenidos por el grupo aportan fundamentos a la preocupación mundial por la creciente exposición a estrógenos ambientales, enfatizan la elevada sensibilidad de las crías a cualquier perturbación endocrina durante el período embrionario y neonatal, y las consecuencias a largo plazo producidas por su acción sobre el desarrollo y diferenciación funcional de la glándula mamaria (Altamirano, 2017).



## Recomendaciones

Establecer los límites diarios permitidos de exposición a sustancias con actividad de perturbación endócrina.

Consultar con los grupos de la Universidad Nacional del Litoral especializados en metodologías analíticas para desarrollar e implementar las técnicas de detección adecuadas a cada sustancia en particular.

Equipar a los organismos de control municipal, provincial y/o nacional con la metodología y personal capacitado para analizar la presencia de los mismos en la naturaleza y elementos de consumo humano y animal.

Realizar campañas de educación pública acerca de los riesgos asociados a la exposición a este tipo de compuestos. Elaborar guías adecuadas a cada nivel educativo, primario, secundario, terciario y/o universitario.

### **Contaminantes Ambientales Hormonalmente Activos. Efectos en el sistema reproductor del yacaré overo (*Caiman latirostris*)**

*Germán H. Galoppo,<sup>7</sup> Yamil E. Tavalieri<sup>7</sup> y Mónica Muñoz de Toro<sup>7</sup>*

#### Contaminantes Ambientales Hormonalmente Activos

Los Contaminantes Hormonalmente Activos (CHA) son compuestos naturales o sintéticos con capacidad de imitar o inhibir la acción de hormonas endógenas (Bergman *et al.*, 2012). Los CHA mejor caracterizados son los que actúan como agonistas estrogénicos (Luque *et al.*, 2018). Están presentes en fitosanitarios, suplementos dietarios, plásticos, medicamentos, cosméticos, orina, entre otros. La exposición a CHA en Dosis Ambientalmente Relevantes (DAR) se asocia al incremento de patologías reproductivas, alteraciones metabólicas e inmunosupresión en animales de laboratorio, silvestres, de interés zootécnico y el hombre (Bergman *et al.*, 2012). Se entiende por DAR a aquella dosis que resultaría de la exposición a una determinada sustancia en las concentraciones que normalmente se encuentran en el ambiente (National Research Council, 1999).

La atrazina (ATZ) es un herbicida cuyo mecanismo de acción consiste en la inhibición de diferentes procesos enzimáticos, entre ellos la fotosíntesis (Shimabukuro y Swanson, 1969). ATZ se utiliza para el control de malezas en cultivos de maíz, sorgo y caña de azúcar, entre otros. ATZ es altamente persistente en suelo, moderadamente soluble en agua y se puede transportar a

---

<sup>7</sup> Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

más de 1000 km desde el punto de aplicación (Mast *et al.*, 2007). Este herbicida puede afectar el desarrollo de las gónadas masculinas de varias especies de vertebrados, provocando demasculinización y feminización de las mismas (Hayes *et al.*, 2011).

El endosulfán (END) es un pesticida organoclorado clasificado como CHA con actividad estrogénica (Varayoud *et al.*, 2008). Aunque en Argentina fue prohibido en 2013 (SENASA, 511/11), persiste en el ambiente debido a su naturaleza lipofílica y el yacaré continúa expuesto a través de la red trófica.

En los últimos años ha adquirido importancia la contaminación ambiental por partículas plásticas de diámetro menor a 5mm denominadas microplásticos. La asociación entre microplásticos y CHA se debe tanto a la capacidad que tienen de adsorber y concentrar compuestos orgánicos persistentes, de conocida actividad hormonal, así como por los componentes usados en su síntesis, muchos de ellos clasificados como CHA (ej. phtalatos y BPA). Al ser ingeridos por los organismos acuáticos y favorecidos por el pH ácido, los microplásticos liberan CHA (Teuten *et al.*, 2009; Muñoz de Toro, 2015).

## Yacaré overo

El yacaré overo es una de las dos especies de caimanes que habitan los humedales del noreste argentino. Yacaré overo no es solo una especie autóctona, sino que, debido a su uso sustentable, también es un animal de interés zootécnico. Es un reptil ovíparo de hábitos acuáticos y terrestres, ubicado en la posición más alta de la red trófica, que posee una expectativa de vida semejante a los humanos. Estas características eco-fisiológicas determinan que el yacaré pueda estar expuesto a una gran variedad de compuestos durante todos los estadios de su vida y bioacumular contaminantes, por lo cual es considerado un potencial centinela de contaminación ambiental (Stoker *et al.*, 2003; Rey *et al.*, 2006; Latorre *et al.*, 2016; Tavalieri *et al.*, 2020). La expansión de las áreas sembradas en el noreste del país no solo disminuye el hábitat del yacaré overo, sino que también aumenta su riesgo de exposición a fitosanitarios clasificados como CHA. El yacaré, además, posee plasticidad en la determinación sexual (la gónada indiferenciada puede diferenciarse a ovario o testículo según la temperatura de incubación de los huevos o por acción hormonal). Cuando la variable es la temperatura de incubación de los huevos, se denomina determinación sexual por temperatura. Una temperatura de incubación constante de 30 °C permite obtener 100 % de hembras, mientras que una temperatura constante de 33 °C produce 100 % de machos (Stoker *et al.*, 2003). Por otro lado, se demostró que en huevos incubados a temperatura de producción de

machos la exposición a 1,4 ppm de 17- $\beta$  Estradiol (E2), en el período embrionario de determinación sexual, produce hembras, superando el efecto de la temperatura (Stoker *et al.*, 2003; Beldoménico *et al.*, 2007). Este fenómeno se denomina determinación sexual hormonal. Esta plasticidad en la determinación sexual es una característica útil para evaluar actividad estrogénica de contaminantes.

### Exposición natural a pesticidas organoclorados y PCBs

Con el objetivo de validar/fortalecer el uso de yacaré overo como centinela de contaminación ambiental, nos propusimos determinar el contenido de compuestos organoclorados (COCs) en huevos e identificar posibles biomarcadores de exposición. Los COCs son lipofílicos e identificados como CHA. Los huevos de yacaré tienen un alto contenido lipídico (Stoker *et al.*, 2011) y los compuestos lipofílicos son transferidos por la madre en la vitelogénesis (Rauschenberger *et al.*, 2007). En especies que, como el yacaré, exhiben gran fidelidad territorial, las concentraciones de COCs presentes en los huevos reflejan el nivel de contaminación de su hábitat (de Solla y Fernie, 2004). Se determinó la carga de residuos de COCs (pesticidas y PCBs) en huevos de yacaré recolectados en las provincias de Santa Fe, Chaco y Entre Ríos, en zonas con diferente grado de intervención antrópica. En las zonas de mayor intervención, las concentraciones de COCs en huevo evidenciaron una exposición del embrión que podría modificar la histoarquitectura gonadal y comprometer su funcionalidad en la vida adulta (Stoker *et al.*, 2011). Además, observamos una correlación negativa entre concentración de COCs y número de huevos por nido. Si consideramos que la carga de COCs en el huevo es un reflejo de la carga materna, podemos sugerir que la eficiencia reproductiva de la hembra se vio afectada por la exposición a COCs. Además, establecimos una correlación negativa entre concentración de COCs y porosidad de la cáscara de los huevos, y que un menor número de poros está asociado a una menor sobrevivencia de los neonatos (Stoker *et al.*, 2013). El menor tamaño de la nidada y la menor sobrevivencia de los neonatos son potenciales biomarcadores de exposición y podrían utilizarse como alerta temprana respecto a los efectos de la exposición a CHA sobre la dinámica poblacional del yacaré.

## Exposición experimental a compuestos hormonalmente activos

Para profundizar en la identificación de procesos biológicos sensibles a la acción de CHA, se evaluaron los efectos sobre la fisiología gonadal. La organogénesis gonadal está regulada por interacciones célula–célula, célula–matriz extracelular y requiere apropiadas señales endócrinas. Yacarés hembras expuestas a BPA, END y ATZ durante la organogénesis gonadal exhiben dinámica folicular y niveles de hormonas sexuales alterados mucho después que la exposición ha finalizado (Stoker *et al.*, 2008), mientras que en yacarés machos observamos alteraciones en la histoarquitectura testicular y disminución en los niveles de testosterona (Rey *et al.* 2009; Durando *et al.*, 2013, 2016). Ahora bien, no solo el desarrollo y la diferenciación gonadal se ven afectadas. Recientemente, el grupo estableció la ontogenia de expresión de algunos biomarcadores y de cambios en la histofuncionalidad del oviducto del yacaré, desde neonatos a juveniles (Galoppo *et al.*, 2016). El patrón de expresión de los receptores para estrógenos y progesterona evidencian que aún en estadios tempranos del desarrollo posnatal, el oviducto del yacaré es un órgano blanco de hormonas endógenas y ambientales. Además, la adenogénesis oviductal sería un proceso estrógeno–dependiente (Galoppo *et al.*, 2016). La exposición posnatal temprana a E2 y BPA modificó el patrón temporal adelantando cambios histomorfológicos y expresión de biomarcadores de diferenciación histofuncional (Galoppo *et al.* 2017). Estudios recientes realizados en genitales externos, órganos sexualmente dimórficos, nos permiten concluir que estos también pueden ser blancos de la acción de CHA (Tavaliere *et al.*, 2019).

## Conclusión

Las alteraciones en el sistema reproductivo de yacarés expuestos a CHA remarcan la importancia de preservar los humedales de la contaminación con fitosanitarios y microplásticos (fuentes de BPA, COCS y otros CHA). El conocimiento generado pone en alerta sobre posibles efectos en la dinámica poblacional del yacaré en particular y de otras especies con las que comparte el ecosistema de los humedales y permitirá elaborar protocolos para el manejo responsable y seguro de estos compuestos.

## Recomendaciones

Se recomienda a quienes se encuentren en posiciones de tomar decisiones respecto a políticas públicas a fin de preservar la salud ambiental,

- Adherir al Principio de Precaución del Derecho Ambiental (ley 25675, 2002), el cual exige que, frente a amenazas a la salud ambiental y en una situación de incertidumbre científica, se tomen las medidas apropiadas para prevenir o mitigar los daños. Mitigar el impacto de la contaminación debida a CHA requerirá del reemplazo de estrategias actuales para el control de plagas por alternativas que aseguren una producción adecuada de alimento sin comprometer la salud ambiental. Entre estas alternativas pueden mencionarse el desarrollo de cultivos resistentes a plagas (Li *et al.*, 2006), la incorporación de estrategias de control biológico de plagas (Barratt *et al.*, 2017; Gurr y You, 2016) y la implementación de nanomateriales como fertilizantes y pesticidas (Adisa *et al.*, 2019). Dado que el uso de pesticidas convencionales constituye actualmente la estrategia empleada para el control de plagas, deberían considerarse a futuro la persistencia ambiental de estas sustancias, su potencial para acumularse en la red trófica y su capacidad de funcionar como CHA en organismos que no son blanco directo de su acción.
- Diseñar políticas y estrategias tendientes a minimizar el uso de materiales plásticos, especialmente los del tipo descartable y optimizar el reciclado del material plástico de descarte de forma tal de incluirlo dentro del esquema de economía circular.
- Implementar acciones de vigilancia y monitoreo medioambiental, en este contexto constituyen una herramienta esencial de protección de ecosistemas y la salud de sus constituyentes, incluidos los humanos.
- Promover la investigación y desarrollo en temas relacionados: caracterización de organismos centinela de contaminación ambiental, la determinación de actividad hormonal en muestras complejas y de la concentración de CHA claves en muestras ambientales permitirá detectar fuentes de contaminación, generar alertas y mitigar los impactos en forma temprana. Desarrollo de materiales seguros.
- Implementar medidas de protección, prevención e información mediante programas educativos para concientizar tanto a usuarios de pesticidas como a la población en general sobre el manejo correcto de pesticidas y materiales plásticos, el uso responsable de los mismos y el control de residuos que constituyan potenciales fuentes de CHA.
- Promover la articulación entre docentes–investigadores de la Universidad con docentes de nivel primario y secundario; esto favorecería la formación y actualización en Educación Ambiental.

## Efectos del ambiente sobre la salud humana y animal

Cora Stoker,<sup>8</sup> Gisela Paola Lazzarino,<sup>8</sup> María Florencia Rossetti<sup>8</sup>  
y Jorge Guillermo Ramos<sup>8</sup>

El hipocampo se ha asociado desde hace tiempo a la ejecución de funciones cognitivas y a la de consolidación de la memoria, mientras que la pérdida de su funcionalidad se ha relacionado con patologías neurodegenerativas. El envejecimiento es un proceso fisiológico que abarca distintas áreas del cerebro y tiene consecuencias importantes sobre mecanismos celulares, moleculares y neuronales que afectan directamente la plasticidad. Durante años, estos cambios han sido asociados a la disminución en los niveles de ciertos esteroides; dichos esteroides también pueden ser sintetizados *de novo* en el cerebro y son denominados neurosteroides. Los neurosteroides poseen propiedades neurotróficas y neuroprotectoras y sus niveles disminuyen durante el desarrollo postnatal. En el mismo sentido, se ha demostrado que la expresión génica de ciertas moléculas implicadas en la síntesis de los mismos se ve modificada en el hipocampo durante los procesos neurodegenerativos y durante el envejecimiento y, aunque poco se conoce acerca de los mecanismos regulatorios, los cambios en la transcripción podrían estar siendo controlados por mecanismos epigenéticos.

Por otra parte, se ha demostrado que la estimulación cognitiva y el ejercicio físico pueden proporcionar beneficios significativos para la salud humana. En roedores, estas condiciones se logran mediante los llamados «ambientes enriquecidos», los cuales incrementan la plasticidad neuronal a través de cambios en la neurogénesis, los contactos sinápticos y la arborización de las dendritas. Otro tipo de estímulo está dado por la experiencia materna, la cual contribuye a un mejoramiento de la memoria, del aprendizaje y las funciones de neuroplasticidad asociadas al hipocampo.

En este sentido, el desafío del grupo fue el de estudiar, mediante el uso de modelos *in vivo*, la influencia de la edad, la experiencia reproductiva y el ambiente enriquecido sobre la expresión de los genes que codifican las proteínas/enzimas STAR, P450SCC, 3 $\beta$ -HSD, P450arom, P450(17 $\alpha$ ), 5 $\alpha$ -reductasa-I, 3 $\alpha$ -HSD, P450(11 $\beta$ )-2 y 17 $\alpha$ -HSD-3 en la región hipocámpica del cerebro.

En base a los resultados obtenidos, se pudo concluir que el aumento progresivo de la edad afecta negativamente la memoria episódica y modifica la transcripción de los enzimas neurosteroidogénicas, aumentando los niveles de metilación de los promotores P450SCC, 5 $\alpha$ -reductasa-I y 3 $\alpha$ -HSD. Sumado a ello, la exposición a ambientes enriquecidos aumenta la expresión de las

---

8 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL. Instituto de Salud y Ambiente del Litoral (ISAL) (CONICET-UNL).

moléculas neuroesterodogénicas en animales jóvenes y adultos y genera cambios en los patrones de metilación del gen correspondiente a la enzima 5 $\alpha$ -reductasa-1. Por último, la preñez y la lactancia afectan de manera diferencial la transcripción de las enzimas neuroesteroidogénicas, modificando el estado de metilación de los promotores correspondientes a las enzimas P450sc, 5 $\alpha$ -reductasa-1 y P450arom en las ratas adultas. Estos hallazgos contribuyen con el estudio de los mecanismos moleculares implicados en los efectos negativos asociados al envejecimiento y el rol de los tratamientos conductuales como factores atenuantes de dichos efectos.

Hoy en día la obesidad es la mayor amenaza para la salud pública en el mundo desarrollado. La dieta de cafetería (CAF) es un modelo dietario experimental para roedores que refleja con precisión la variedad de alimentos de alta palatabilidad y densos en energía que prevalecen en la sociedad occidental. La regulación de la ingesta puede ser vista en función de dos sistemas: homeostático y no homeostático o hedónico. El primero se relaciona principalmente con el control hipotalámico de la ingesta, que regula el balance de energía mediante el aumento de la motivación para comer tras el agotamiento de las reservas. El control hedónico se produce principalmente a través del circuito de recompensa cerebral, y puede anular la vía homeostática durante los períodos de abundancia relativa de energía aumentando el deseo de consumir alimentos que son muy apetecibles. Además, ha sido reportado que varias enzimas neurosteroidogénicas se expresan en el hipotálamo y que los esteroides también pueden afectar la ingesta de alimentos, aunque la relación entre sus niveles y el estado metabólico o dietario de los animales aún no ha sido completamente estudiada.

En base a lo anteriormente expuesto, el objetivo del trabajo fue conocer si los cambios en el control de la ingesta calórica son mediados por la vía homeostática (neuropéptidos hipotalámicos orexígenos/anorexígenos), la vía no homeostática (sistema de recompensa) y por alteraciones en la síntesis de neuroesteroides que contribuirían a la conducta orexígena. Además, buscamos analizar si la intervención dietaria prolongada afecta también los sistemas de control de ingesta en la progenie, involucrando cambios transmisibles transgeneracionalmente a través de mecanismos no genómicos de naturaleza epigenética.

De esta manera, los resultados obtenidos muestran que una ingesta de una dieta de alta palatabilidad desde etapas tempranas de la vida altera de manera diferencial a los sistemas cerebrales involucrados en el control de la ingesta, según la longitud de la intervención dietaria. Una ingesta a corto plazo de CAF altera al sistema de recompensa cerebral, al menos en parte mediante cambios epigenéticos, reflejando un estado de hiposensibilidad a la recompensa

que podría promover el consumo excesivo de alimentos de alta palatabilidad para compensarlo. La desregulación de las vías homeostática y neuroesteroideogénica observada en los animales CAF juega un papel importante en el control de la ingesta a mediano plazo, llevando a un estado de sobrepeso. Estos cambios se exacerban a largo plazo, al manifestarse un estado de obesidad. Los cambios observados a nivel epigenético en los animales alimentados con CAF a mediano y largo plazo nos sugieren que una ingesta prolongada de esta dieta podría afectar diferencialmente el patrón de metilación del ADN de las regiones promotoras de los genes en núcleos hipotalámicos discretos. Además, algunos de los cambios observados serían transmisibles transgeneracionalmente. Finalmente, resulta esencial identificar los cambios en la expresión génica al comienzo del desarrollo de la obesidad, para poder predecir la trayectoria de esta patología y así elegir una terapia eficaz.

## Conclusiones

- a) El mantenimiento de la actividad intelectual, social y afectiva aumenta la expresión de factores neurotróficos. Se recomienda fuertemente este tipo de actividades dentro de la prevención de enfermedades neurodegenerativas crónicas.
- b) La ingesta de una dieta de alta palatabilidad y rica en grasas desde etapas tempranas de la vida, altera de manera diferencial a los sistemas cerebrales involucrados en el control del consumo de alimentos, promoviendo la obesidad y las adicciones a través de la activación del sistema de recompensa dopaminérgico.



## Recomendaciones

Se sugiere implementar políticas públicas que busquen estimular, tanto en personas jóvenes como adultas, el desarrollo de actividades intelectuales, sociales y afectivas, informando acerca de la importancia que tienen estos estímulos sobre la prevención en la aparición de enfermedades neurodegenerativas crónicas. En el mismo sentido, estas prácticas también deberían incluir la educación de la sociedad en la importancia de llevar a cabo dietas saludables, incluso desde etapas tempranas de la vida (transferencia madre-hijo), para evitar consecuencias a largo plazo como la obesidad y las adicciones.

### **Efectos del ambiente físico sobre la producción animal**

*Guillermo D. Toffoli*<sup>9</sup> y *Perla E. Leva*<sup>9</sup>

En los sistemas de producción pastoriles o a corral de Argentina, los animales domésticos están expuestos permanentemente al ambiente, que afecta directamente las respuestas fisiológicas y productivas e indirectamente el plano de nutrición por variaciones en la cantidad y calidad de pasturas y cultivos que son los principales componentes de la alimentación (Gallardo y Valtorta, 2009). La producción de leche está muy influida por los elementos meteorológicos (Johnson, 1987). Durante los meses cálidos, la acción combinada de alta radiación solar, temperatura y humedad del aire, determina que el ambiente meteorológico se encuentre fuera de la zona de confort reduciendo la productividad de los rodeos lecheros. Esto último es especialmente cierto en animales de alto rendimiento y alto potencial genético, los cuales son muy sensibles al estrés por calor (Silanikove, 2000; Gallardo y Valtorta, 2009; Bernabucci *et al.*, 2014). Varios estudios plantean la hipótesis de una zona termo neutral, es decir, el equilibrio térmico entre el animal y el ambiente donde vive; para las vacas lecheras esa zona está comprendida entre 5 °C y 25 °C a 26 °C (Berman *et al.*, 1985; Roenfeldt, 1998; West, 2003; Aggarwal y Upadhyay, 2013). Cuando las condiciones ambientales exceden la zona termoneutral ( $\geq 25$  °C o  $TH \geq 70$ ), (McDowell, 1976; Armstrong, 1994), las vacas lecheras comienzan a sufrir estrés por calor; un estado metabólico donde los requisitos aumentan para mantener la temperatura corporal (West, 2003; Allen *et al.*, 2015). En condiciones de estrés por calor, las vacas aumentan la frecuencia respiratoria y el jadeo, disminuye los eventos de alimentación y esto afecta la rumia (Rhoads *et al.*, 2009; Schütz *et al.*, 2008). La rumia se describe como el proceso de regurgitación, remasticación, salivación

---

<sup>9</sup> Facultad de Ciencias Agrarias, UNL.

y deglución de la ingesta para reducir el tamaño de los alimentos y mejorar la digestión de la fibra. Además, es importante porque estimula la producción de saliva (Bermabucci *et al.*, 2014), que actúa como solución buffer para el mantenimiento del pH del rumen (Bermabucci *et al.*, 2010; Palmonari *et al.*, 2010). Por lo tanto, una disminución del tiempo de rumia aumenta el riesgo de acidosis (Bermabucci *et al.*, 2010). Además, la rumia es una función fisiológica clave en rumiantes, y está asociado con el bienestar de las vacas (Bar y Solomon, 2010).

Por otro lado, el aumento de la frecuencia respiratoria (y en mayor medida, el jadeo), funciona como un método para disipar el exceso de calor (Hahn, 1999). Al incrementarse el jadeo, aumenta la velocidad del aire en movimiento y, por lo tanto, aumenta la evaporación y el enfriamiento (Robertshaw, 2006). La frecuencia respiratoria se considera como uno de los mejores indicadores fisiológicos de estrés por calor en un entorno de producción (Brown–Brandl *et al.*; 2005). Las observaciones de jadeo deben tomarse junto con la frecuencia respiratoria al evaluar el estrés en vacas lecheras (Gaughan *et al.*, 2000) y, para clasificarlo, se puede hacer de acuerdo con lo propuesto por Mader *et al.*, (2005), que clasifica con números el jadeo según las diferentes posiciones del animal, o simplemente registrar si los animales respiran con la boca abierta durante la observación de la frecuencia respiratoria (Legrand *et al.*, 2011). Se estima que las pérdidas de calor de las vacas, cuando las temperaturas son > 30 °C, el 15 % es atribuido al jadeo y el 85 %, a la pérdida por evaporación a través de la piel (Maia y Loureiro, 2005). También el incremento de la frecuencia respiratoria aumenta el riesgo de acidosis, al exhalar más CO<sub>2</sub>, lo que reduce el pH del rumen (Bermabucci *et al.*, 2010).

En todas las cuencas argentinas, en mayor o menor grado, existen problemas de estrés por calor durante parte del año. Considerando el impacto negativo que esta situación ambiental de estrés por calor tiene sobre los índices productivos y reproductivos, es necesario que los sistemas de producción implementen medidas para mitigar su efecto.

Existe coincidencia entre los investigadores acerca de las estrategias básicas para atenuar los efectos del estrés calórico, tanto para los sistemas de producción extensivos como intensivos; ellas son: 1) la modificación física del ambiente, 2) esquemas apropiados del manejo nutricional, 3) utilización de biotipos más tolerantes al estrés calórico (Leva y Valtorta, 2005). Desde el grupo de investigación de la FCA se ha trabajado sobre diferentes estrategias de modificación ambiental combinadas con manejo nutricional. Se han evaluado sistemas de sombras artificiales y sistemas combinados (ventilación y aspersión) para mejorar el bienestar y la producción animal, y también se ha evaluado el comportamiento de biotipos cruza (Jersey y Holando argentino).

## Modificaciones del ambiente bajo condiciones de pastoreo. Respuesta animal

### Sombras artificiales (red de 80 %)

La implementación de sombras no solo en el corral de espera sino también en los potreros tienen como objetivo disminuirla carga radiactiva. Trabajos realizados en la cuenca central santafesina durante el verano (Gallardo y Valtorta, 2009), proveyendo de sombra a los animales durante las horas de mayor radiación, mejoraron el bienestar y se logró un aumento de la producción de leche entre el 10 y el 12 %.

### Enfriamiento o refrescado

Este sistema combina el mojado del animal, con aspersores, y luego ventilación con ventiladores. Es necesario incorporar un reloj temporizador, debido a que se realizan ciclos de ventilación–aspersión de cinco minutos (un minuto de aspersión y cuatro de ventilación). Se pueden colocar en los corrales de espera o en los sitios de alimentación. Siempre es necesario que estén colocadas previamente sombras con red o de otro material. En la cuenca lechera se ha evaluado la efectividad de los refrescados previos a los ordeñes (Valtorta *et al.*, 2004). Los sistemas de refrigeración mejoraron el bienestar de las vacas y su desempeño productivo, logrando obtener más leche con mayor contenido de proteínas y grasa. También se ha evaluado la efectividad de este sistema en los sitios de alimentación (Ghiano *et al.*, 2011). Las vacas con refrigeración versus el testigo sin refrigeración en los comederos presentaron mayor eficiencia de conversión, mejor bienestar, medidos a través de la temperatura rectal (TR) y la frecuencia respiratoria (FR) y el aumento de producción. El bienestar expresado como el incremento de la TR y FR (diferencia entre la mañana y la tarde) entre las refrigeradas y las testigos fue de 0,6 y de 1,3 % para la TR y 4,2 rpm y 12,7 rpm para la FR respectivamente. La producción de leche fue un 15 % mayor en relación con la testigo. La eficiencia de conversión fue de 1,5kg leche/kg materia seca en las refrigeradas y de 1,31kg leche/kg MS en la testigo.

## Manejo nutricional

Dado que tanto los factores nutricionales como ambientales afectan el desempeño de las vacas lecheras, se diseñaron ensayos en la cuenca central argentina para evaluar los efectos combinados de la dieta y la refrigeración en el corral de espera. Las vacas se asignaron a cuatro tratamientos, consistentes en la combinación de dos dietas. Control (DC) y balanceada (DB) con dos niveles de refrigeración antes de los ordeñes: aspersores y ventiladores (AV) y sin refrigeración (SAV). Para evaluar el bienestar se tomaron las TR y las FR antes y después del ordeño vespertino. Las vacas refrigeradas presentaron menor TR y FR después del ordeño vespertino independientemente de la dieta. Por otro lado, la producción y concentración de proteína en leche fue más alta para las DB (Gallardo y Valtorta, 2009).

## Utilización de biotipos más tolerantes al estrés calórico

El impacto por estrés ambiental se puede disminuir utilizando cruzamientos con razas más tolerantes al calor. La raza Jersey (J) es más tolerante al estrés térmico que la Holando (H). El límite superior de la zona de termoneutralidad para la producción de leche, es 5 °C más alto que para la primera. Así, una vía posible para aumentar la tolerancia al calor de los rodeos H podría ser la incorporación de sangre J. Ensayos realizados en la zona entre H y cruza CJ, no se detectó ningún efecto significativo en la producción de leche, ni tampoco se pudo inferir mayor tolerancia al calor entre los dos biotipos.

## Recomendaciones

Las sugerencias que resultan de este capítulo es incrementar las posibilidades de que los productores accedan a créditos blandos, para mejorar la infraestructura actual e incorporar toda la tecnología de precisión que ya está disponible en el mercado. Estas posibilidades tienen que ir acompañadas de una remuneración del precio del producto.

## Derecho Ambiental en la provincia de Santa Fe

*Natalia Barrilis*<sup>10</sup> y *María Valeria Berros*<sup>10</sup>

Para analizar problemáticas socio–ambientales como las desarrolladas en este capítulo desde una perspectiva jurídica, se deben tener en cuenta ciertas reglas derivadas de la forma federal y republicana de gobierno: la existencia de diferentes niveles de competencia territorial (nación, provincia y municipios), y la de tres poderes independientes entre sí (ejecutivo, legislativo y judicial). En este sentido, como regla general, es necesario establecer que ninguna norma inferior puede contradecir una norma superior (por ejemplo, una ley provincial respecto de una nacional) así como tampoco una reglamentación administrativa puede desvirtuar el contenido de cualquier norma sancionada por los poderes legislativos. En esta línea, el derecho ambiental vigente en la provincia de Santa Fe solo puede ser comprendido íntegramente a la luz de las disposiciones que la Constitución Nacional contiene sobre el esquema de competencias entre nación y provincias para la regulación de la materia ambiental. La reforma constitucional de 1994 incorporó el artículo 41 que consagra el derecho de todo habitante a un ambiente sano y la responsabilidad de las autoridades sobre la efectividad del mismo, así como sobre la tutela del patrimonio natural, cultural y de la diversidad biológica. Además, determinó un reparto de competencias regulatorias en materia ambiental que difiere del sistema que distingue entre competencias delegadas a Nación y reservadas a las provincias (Ekmekdjian, 2002). En materia ambiental se establece que le corresponde a la Nación el dictado de las leyes de presupuestos mínimos que son las que establecen los pisos mínimos de tutela ambiental y a las provincias las necesarias para complementarlas. Esto significa que el Estado nacional sanciona normativas que rigen obligatoriamente en todo el territorio y que las provincias pueden ampliar la protección allí dispuesta, pero nunca restringirla (Esaín, 2008, 2017). Por ejemplo, la Ley de presupuestos mínimos sobre bosques nativos establece los mínimos de protección de este tipo de bosques así como una serie de mecanismos, como el ordenamiento territorial de bosques nativos, que cada provincia debe adoptar y puede incluso mejorar pero no puede desconocer. Este conjunto de normas, que a la fecha son: ley 25612 de la gestión integral de residuos de origen industrial y de actividades de servicio<sup>11</sup>; ley 25670 de gestión y eliminación de PCBs<sup>12</sup>; ley 25675 de política ambien-

---

10 Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales, UNL.

11 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/76349/norma.htm>

12 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79677/norma.htm>

tal<sup>13</sup>; ley 25688 de gestión ambiental de aguas<sup>14</sup>; ley 25831 sobre el régimen de libre acceso a la información pública ambiental<sup>15</sup>; ley 25916 sobre gestión de residuos domiciliarios<sup>16</sup>; ley 26331 de protección de los bosques nativos<sup>17</sup>; ley 26562 de control de actividades de quema<sup>18</sup>; ley 26639 de preservación de glaciares y del ambiente periglacial<sup>19</sup>; ley 26815 de manejo del fuego<sup>20</sup>; ley 27279 de gestión de envases vacíos de productos fitosanitarios<sup>21</sup>, ley 27520 de adaptación y mitigación al cambio climático<sup>22</sup> y la recientemente aprobada ley para la implementación de la Educación Ambiental Integral, constituyen el piso mínimo de protección que debe ser respetado por las legislaciones locales. Al pacto constitucional y a esta serie de leyes de presupuestos mínimos se suma la incorporación de tratados internacionales con jerarquía superior a las leyes, como ocurre, entre otras convenciones ratificadas por Argentina, con el Convenio sobre la Diversidad Biológica y con el Convenio Marco sobre Cambio Climático.

En el caso de la provincia de Santa Fe existe una norma general sobre medio ambiente y desarrollo sustentable 1171723 del año 1999 cuyo contenido se encuentra, entonces, actualizado por el marco normativo de presupuestos mínimos y, en especial, por la ley 25675 que introduce una serie de objetivos, principios e instituciones y, por esa razón, se la conoce como «Ley General del Ambiente». Su contenido es de indudable relevancia ante la rápida expansión a nivel global de catástrofes y de riesgos manufacturados (Beck, 1998), la aten-

---

13 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/75000-79999/79980/norma.htm>

14 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/80000-84999/81032/norma.htm>

15 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/90000-94999/91548/norma.htm>

16 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/95000-99999/98327/norma.htm>

17 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/150000-154999/150399/norma.htm>

18 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/verNorma.do?id=161547>

19 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/170000-174999/174117/norma.htm>

20 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/205000-209999/207401/norma.htm>

21 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/265000-269999/266332/norma.htm>

22 Texto disponible en: <http://servicios.infoleg.gob.ar/infolegInternet/anexos/330000-334999/333515/norma.htm>

23 Texto disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/normativa/getFile.php?id=228059&item=108183&cod=a027a91afd80ef499dc1a0a139899f7e>

ción colocada cada vez con mayor énfasis sobre el porvenir de las futuras generaciones frente al cambio climático (Gaillard, 2011) así como sobre la pérdida de biodiversidad (Informe IPBES, 2019). Todos estos procesos se manifiestan en nuestro territorio provincial de diferente modo y se relacionan con varios de los temas abordados en este capítulo. Entre los principios incorporados se destaca el de equidad intergeneracional que traduce la tutela de las generaciones futuras establecida de modo explícito por la Constitución Nacional, es decir, que incorpora la idea de que las generaciones presentes tienen una responsabilidad, un legado en relación con el estado del ambiente, respecto de las generaciones venideras. A su vez, se incorpora el principio de precaución, el cual se considera medular para los temas aquí tratados y se ha convertido en una importante herramienta para la toma de decisiones políticas y judiciales. El mismo se aplica cuando se está ante la posibilidad de ocurrencia de daños ambientales graves e irreversibles, muchos de los cuales poseen repercusión directa en materia de salud humana, y existe incerteza científica o ausencia de información (Cafferatta y Goldemberg, 2002; Sozzo y Berros, 2009, 2011). Esta incerteza o carencia de datos no pueden ser utilizados como razón para postergar la toma de decisiones, lo que es especialmente relevante para la protección de las especies de flora y fauna nativas, el suelo, el agua y la salud humana. De esta manera, el principio de precaución implica que una actividad, sobre la cual hay suficiente evidencia para señalarla como potencialmente perjudicial para la salud humana o de los ecosistemas, puede ser prohibida, a la espera de que un continuo y posterior agregado de evidencia científica consolide o desestime su capacidad de perjuicio o daño con mayor grado de certeza. Este principio ha sido aplicado en numerosos casos judiciales en la provincia de Santa Fe en los que ciudadanos y/u organizaciones no gubernamentales iniciaron reclamos sobre riesgos controvertidos como, por ejemplo, instalación de antenas de telefonía celular y fumigaciones con agroquímicos. Los problemas abordados en el presente capítulo podrían enhebrarse con dos cuestiones regulatorias centrales: por una parte, la tutela de la biodiversidad y, por la otra, la regulación relativa a riesgos, en particular los devenidos del uso de agrotóxicos. En cuanto a la primera de ellas, la Constitución Provincial de 1962 posee centralidad dado que, en su artículo 28, establece que la provincia resguarda la flora y fauna autóctona. A su vez, más cerca en el tiempo se incorporó la ley 12175<sup>24</sup> que crea el Sistema Provincial de Áreas Naturales Protegidas brindando una serie de opciones legales para la protección de territorios (reserva natural estricta o reserva científica, parques provinciales,

---

24 Textodisponible en: [https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/123097/\(subtema\)/112853](https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/123097/(subtema)/112853).

monumentos naturales –el Aguará Guazú y el Venado de las Pampas fueron declarados como tales por medio de la ley 12182<sup>25</sup>–, reserva natural manejada o santuario de flora y fauna, paisaje protegido, reservas naturales culturales, reservas privadas de uso múltiple, reservas hídricas o humedales). Todos estos son mecanismos que permiten la tutela de ciertos territorios y, por tanto, se advierten como formas de protección de la biodiversidad. Sin embargo, aun cuando existen estas diversas categorías de manejo, el territorio provincial que se encuentra bajo esta regulación es muy menor en relación con lo que prevén las Metas Aichi –las 20 metas que acordaron los países en la Conferencia de Partes del Convenio de Diversidad Biológica celebrada en 2010 en la ciudad de Aichi, Japón– para el año 2020. A este sistema general de protección se suman leyes específicas entre las que se destacan la reciente ley de acción climática 14019,<sup>26</sup> la ley del árbol 13836<sup>27</sup> y la ley de conservación y manejo de suelos 10552<sup>28</sup> y su decreto reglamentario 2149/18 cuyo contenido debe ser interpretado a la luz de toda la demás normativa ambiental vigente.

En materia de riesgos ambientales y relativos a la salud humana, como se ha advertido por los resultados de los estudios científicos que integran este Capítulo, el uso de pesticidas de diferente tipo es un problema central a nivel provincial. En esta materia se encuentra vigente, desde hace casi un cuarto de siglo, la ley de productos fitosanitarios 11273<sup>29</sup> y su decreto reglamentario 552/97 que establece una serie de pautas y requisitos para el manejo de productos utilizados para realizar fumigaciones. Esta norma ha resultado insuficiente para el cumplimiento cabal de su objeto que, conforme la letra de su primer artículo consiste en la protección de la salud humana, de los recursos naturales y de la producción agrícola, así como evitar la contaminación de los alimentos y del ambiente. El crecimiento a gran escala de la utilización de este tipo de productos se conjuga con la necesidad de adecuar su contenido a la normativa federal vigente luego de la reforma de la Constitución. Ello implica considerar los principios y herramientas contenidos en la ya mencionada Ley General del Ambiente, en especial, en lo referido a los principios de prevención y de precaución, así como considerar las nuevas y prolíficas investiga-

---

25 Texto disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/index.php/web/content/view/full/6994>

26 Texto disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/boletinoficial/ver.php?seccion=2021/2021-01-06ley14019-2021.html>.

27 Texto disponible en: <https://www.santafe.gob.ar/boletinoficial/ver.php?seccion=2019-01-16ley13836-2019.html>.

28 Texto disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/download/3398/19235/file/Ley%2010.552%20y%20decreto%203445.pdf>.

29 Texto disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/Estructura-de-Gobierno/Ministerios/Produccion/Normas/Ley-Provincial-11273-Productos-Fitosanitarios>.



ciones científicas que se han llevado a cabo en las últimas décadas y que dan cuenta del vínculo entre este tipo de productos y la afectación del ambiente, la biodiversidad y la salud humana. Una reforma en esta materia también implica la generación de alternativas para la producción de agroalimentos lo que ha comenzado a desarrollarse mediante el Programa de Producción Sustentable de Alimentos en Periurbanos, instituido por Resolución n° 16/2017 del Ministerio de la Producción. Sin perjuicio de este reciente programa, se advierte como necesario que en paralelo a la revisión de la normativa provincial sobre pesticidas se avance en una norma del mismo alcance en materia de producción agroecológica.

Párrafo aparte merece la normativa vinculada al acceso a la justicia. En la provincia de Santa Fe nos encontramos, con ciertos avances legislativos y de políticas públicas que se conjugan con la falta de adecuación de las normas provinciales a las nacionales o la insuficiencia de las regulaciones locales muchas veces también asociada a la ineficiencia de los controles y a la burocracia de los estamentos administrativos así como las dificultades para el acceso a la justicia en materia ambiental, en especial por fuera de las grandes urbes que poseen la concentración de los espacios institucionales destinados a tal fin, ya sea para la realización de reclamos administrativos o bien de demandas judiciales. La Constitución Provincial y la ley de amparo provincial 10456<sup>30</sup>, que data del año 1990, contienen disposiciones respecto de la acción de amparo, pero dada su fecha de sanción, no receptan las previsiones que la Constitución Nacional de 1994 introdujo en su artículo 43 y, mucho menos, los requisitos que se desprenden de la Ley general del ambiente. Si bien la normativa nacional es aplicable, se producen ciertas dificultades derivadas de los diferentes criterios judiciales que se generan en función de la ausencia de una normativa local clara y actualizada. Tampoco nuestra normativa procesal prevé el ejercicio de acciones colectivas, sin perjuicio de la existencia de la ley de intereses difusos 10000<sup>31</sup> que, indudablemente, fue pionera en materia de protección de intereses difusos, pero que hoy en día se encuentra en parte excedida por la complejidad de las problemáticas actuales. Sin embargo, en la medida en que los temas ambientales y vinculados con la salud de las poblaciones adquieren mayor visibilidad, las exigencias en materia de justicia ambiental y ecológica también se robustecen y, con ello, presionan para que se adopten medidas protectorias, normativas idóneas y controles. En ese sentido, es importante destacar que en la provincia se cuenta con el Decreto 0692/09 que permite el

---

30 Textodisponible en: <https://www.santafe.gov.ar/normativa/getFile.php?id=228031&item=106922&cod=083f09a23090c68001c8393f27e5b330>.

31 Texto disponible en: <https://www.santafe.gov.ar/normativa/item.php?id=106466&cod=915be98d0d33fc81af55fb0fd4dc0cd7>.

acceso a la información pública<sup>32</sup> por parte de la ciudadanía lo que representa un avance institucional medular que se enhebra con los últimos avances legislativos en materia regional sobre información, participación y acceso a la justicia en materia ambiental. Este tipo de progresos se ha visto plasmado en el Acuerdo Regional sobre el Acceso a la Información, la Participación Pública y el Acceso a la Justicia en Asuntos Ambientales en América Latina y el Caribe que entró en vigor el 22 de abril del 2021 y del cual Argentina es parte, lo que abre nuevos desafíos para nuestro país y continente.<sup>33</sup>

## Recomendaciones

Efectuar una cartografía de los principales conflictos socio-ambientales a nivel provincial que permita nuclear similares problemáticas y posibles políticas públicas comunes.

Adecuar la regulación ambiental a los estándares mínimos establecidos en las leyes de presupuestos mínimos vigentes.

Mejorar el sistema de acceso a la justicia, ya sea a nivel administrativo como judicial, por fuera de los grandes centros urbanos.

Mejorar las normativas procesales vigentes para la presentación de amparos ambientales.

Ampliar la superficie de territorio provincial protegido como mecanismo para la tutela de los diversos ecosistemas provinciales.

Reformar la actual Ley de fitosanitarios y desarrollar una regulación y políticas públicas específicas y sostenidas en el tiempo sobre agroecología.

---

32 Información sobre este trámite en: [https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/113046/\(subtema\)/211143](https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/113046/(subtema)/211143).

33 Texto disponible en: <https://www.cepal.org/es/acuerdodeescazu>.

## Referencias bibliográficas del capítulo 5

- Adisa, I. O.; Pullagurala, V. L. R. (...) White, J. C. (2019). Recent advances in nano-enabled fertilizers and pesticides: A critical review of mechanisms of action. *Environmental Science: Nano*, 6, 2002–2030.
- Aggarwal, A. & Upadhyay, R. (2013). Thermoregulation. Pages 1–25 in Heat stress and animal productivity. Springer.
- Akers, R. M. (1999). Lactogenesis. En Knobil, E. & Neill, J. D. (Coords.). *Encyclopedia of reproduction*, II (pp. 979–985). San Diego: Academic Press.
- Alarcon, R.; Ingaramo, P.I. (...) Luque, E. H. (2019). Neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide alters the histofunctional differentiation of the ovaries and uterus in lambs. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 482, 45–56.
- Allen, J. D.; Hall, L. W. (...) Smith, J. F. (2015). Effect of core body temperature, time of day, and climate conditions on behavioral patterns of lactating dairy cows experiencing mild to moderate heat stress. *J. Dairy Sci.*, 98(1), 118–127.
- Alonso, L. L.; Demetrio, P. M. (...) Marino, D. J. (2018). Glyphosate and atrazine in rainfall and soils in agroproductive areas of the pampas region in Argentina. *Science of the Total Environment*, 645, 89–96.
- Altamirano, G. A. (2017). Efectos de la exposición perinatal a estrógenos ambientales sobre la diferenciación de la glándula mamaria durante la gestación y la lactancia (*tesis inédita de doctorado*). Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe.
- Altamirano, G. A.; Muñoz de Toro, M. (...) Kass, L. (2015). Milk lipid composition is modified by perinatal exposure to bisphenol A. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 411, 258–267.
- Altamirano, G. A.; Ramos, J. G. (...) Kass, L. (2017). Perinatal exposure to bisphenol A modifies the transcriptional regulation of the beta-casein gene during secretory activation of the rat mammary gland. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 439, 407–418.
- Andreoli, M. F.; Stoker, C. (...) Ramo, J. G. (2015). Withdrawal of dietary phytoestrogens in adult male rats affects hypothalamic regulation of food intake, induces obesity and alters glucose metabolism. *Mol Cell Endocrinol*, 401, 111–119. 10.1016/j.mce.2014.12.002
- Anonymous (2010). How to feed a hungry world. *Nature*, 466, 531–532.
- Arancibia, F.; Bocles, I. (...) Verzenassi, D. (2018). Tensiones entre los saberes académicos y los movimientos sociales en las problemáticas ambientales. *Metatheoria*, 8(2), 105–123.
- Armstrong, D. (1994). Heat stress interaction with shade and cooling. *Journal of Dairy Science*, 77, 2044–2050.
- ATSDR (2007). Toxicological Profile for Arsenic. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, US. Department of Health and Human Services, Atlanta, GA. Available at: <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp2.pdf>
- Bar, D. & Solomon, R. (2010). Rumination collars: what can they tell us. In Proceedings of the First North American Conference on Precision Dairy Management (pp. 214–215), 2 to 5 March 2010. Toronto, Canada.
- Barratt, B. I. P.; Moran, V. C. (...) Van Lenteren, J. C. (2017). The status of biological control and recommendations for improving uptake for the future. *BioControl*, 63, 155–167.
- Bartsch, T. & Wulff, P. (2015). The hippocampus in aging and disease: From plasticity to vulnerability. *Neuroscience*, 309, 1–16. 10.1016/j.neuroscience.2015.07.084

- Beauquis, J.; Roig, P. (...) Saravia, F. (2010). Short-term environmental enrichment enhances adult neurogenesis, vascular network and dendritic complexity in the hippocampus of type 1 diabetic mice. *PLoS One*, 5, e13993. 10.1371/journal.pone.0013993
- Beck, U. (1998). *La sociedad del riesgo. Hacia una nueva modernidad*. Paidós. Beldomenico, P. M.; Rey, F. (...) Luque, E. H. (2007). In ovum exposure to pesticides increases the egg weight loss and decreases hatchlings weight of Caiman latirostris (Crocodylia: Alligatoridae). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 68, 246–251.
- Bergman, A.; Heindel, J. J. (...) Zoeller, R. T. (2012). Interorganization Programme for the Sound Management of Chemicals. State of the Science of Endocrine Disrupting Chemical. United Nations Environment Programme and World Health Organization.
- Berman, A.; Folman, Y. (...) Graber, Y. (1985). Upper critical temperatures and forced ventilation effects for high-yielding dairy cows in a subtropical climate. *Journal of Dairy Science*, 68, 1488–1495.
- Bernabucci, U.; Biffani, S. (...) Nardone, A. (2014). The effects of heat stress in Italian Holstein dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, 97, 471–486.
- Bernabucci, U.; Lacetera, N. (...) Nardone, A. (2010). Metabolic and hormonal acclimation to heat stress in domesticated ruminants. *Animal*, 4(7), 1167–1183.
- Bishop, N. A.; Lu, T. & Yankner, B. A. (2010). Neural mechanisms of ageing and cognitive decline. *Nature*, 464, 529–535. 10.1038/nature08983
- Bolognesi, C. (2003). Genotoxicity of pesticides: a review of human biomonitoring studies. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 543(3), 251–272.
- Brisken, C. & Rajaram, R. D. (2006). Alveolar and lactogenic differentiation. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 11(3–4), 239–248.
- Brown-Brandl, T.; Eigenberg, R. (...) Hahn, G. L. (2005). Dynamic response indicators of heat stress in shaded and non-shaded feedlot cattle, Part 1: Analyses of indicators. *Bio systems engineering*, 90(4), 451–462.
- Cafferatta, N. y Goldemberg, I. (2002) *El principio de precaución*, JA 2002–IV. Fascículo (6).
- Carballo, M. A. y Simoniello, M. F. (2012). Impacto de los agroquímicos en trabajadores expuestos: biomonitoreo de estrés oxidativo y genotoxicidad. *Revista Ciencia e Investigación Divulgación*. Tomo 62(3), 39–57.
- Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFE) (2015). <http://www.casafe.org/publicaciones/estadisticas/> Collier, R. J. (1999). Lactation, nonhuman. En Knobil, E. & Neill, J. D. (Coords.). *Encyclopedia of reproduction* (pp. 973–979), vol. II. San Diego: Academic Press.
- Committee on Hormonally Active Agents in the Environment (1999). *Hormonally Active Agents in the Environment*. National Academy Press.
- CONAPRIS (2006). (Ministerio de Salud de la Nación). UNIDA (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación). ATA (Asociación Toxicológica Argentina). Epidemiología del Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico en la República Argentina: estudio colaborativo multicéntrico. Buenos Aires, p. 200.
- Curi, L. M.; Peltzer, P. M. (...) Lajmanovich, R. C. (2017). Altered development, oxidative stress and DNA damage in *Leptodactylus chaquensis* (Anura: Leptodactylidae) larvae exposed to poultry litter. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 143, 62–71.
- Dechiara, P. (2017). Evaluación ambiental de agroquímicos y su relación con el daño genético en tres localidades rurales de la provincia de Santa Fe (trabajo final). Licenciatura en Saneamiento Ambiental, ESS, FBCB, UNL.

- De Solla, S. R. & Fernie, K. J. (2004). Characterization of contaminants in snapping turtles (*Chelydras serpentina*) from Canadian Lake Erie Areas of Concern: St. Clair River, Detroit River, and Wheatley Harbour. *Environmental Pollution*, 132, 101–112.
- Do Rego, J. L.; Seong, J. Y. (...) Pelletier, G. (2009). Neurosteroid biosynthesis: enzymatic pathways and neuroendocrine regulation by neurotransmitters and neuropeptides. *Front Neuroendocrinol*, 30, 259–301. 10.1016/j.yfrne.2009.05.006
- Durando, M.; Canesini, G. (...) Muñoz de Toro, M. (2016). Histomorphological changes in testes of broadsnouted caimans (*Caiman latirostris*) associated with in ovo exposure to endocrine-disrupting chemicals. *Journal of Experimental Zoology Part A: Ecological and Integrative Physiology*, 325, 84–96.
- Durando, M.; Cocito, L. (...) Muñoz de Toro, M. (2013). Neonatal expression of *amh*, *sox9* and *sf-1* mRNA in *Caiman latirostris* and effects of in ovo exposure to endocrine disrupting chemicals. *General and Comparative Endocrinology*, 191, 31–38.
- Durando, M.; Kass, L. (...) Muñoz de Toro, M. (2007). Prenatal bisphenol A exposure induces preneoplastic lesions in the mammary gland in Wistar rats. *Environmental Health Perspective*, 115(1), 80–86.
- Durando, M.; Kass, L. (...) Muñoz de Toro, M. (2011). Prenatal exposure to bisphenol A promotes angiogenesis and alters steroid-mediated responses in the mammary glands of cycling rats. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 127(1–2), 35–43.
- Eckel, L. A. (2011). The ovarian hormone estradiol plays a crucial role in the control of food intake in females. *Physiol Behav*, 104, 517–524. 10.1016/j.physbeh.2011.04.014
- Ekmekdjian, M. A. (2002). *Manual de la Constitución Argentina* (5ta. Ed.). Depalma.
- Engel, S. M.; Levy, B. (...) Wolff, M. S. (2006). Xenobiotic phenols in early pregnancy amniotic fluid. *Reproductive Toxicology*, 21(1), 110–112.
- EPA 40 CFR Parts 9, 141 and 142, [WH-FRL-6934-9] RIN 2040-AB75, Federal Register, 66(14), 6976–7066. Monday, January 22, 2001 / Rules and Regulations.
- Erlanson-Albertsson, C. (2005). Appetite regulation and energy balance. *Acta Paediatr Suppl.*, 94, 40–41.
- Esain, J. (2008). *Competencias ambientales*. AbeledoPerrot.
- Esain, J. (2017). *El control de complementariedad en materia ambiental. Los presupuestos mínimos ambientales*, La Ley, 4 de octubre (1–8).
- Etchegoyen, M. A.; Ronco, A. E. (...) Marino, D. J. (2017). Occurrence and fate of pesticides in the Argentine stretch of the Paraguay-Paraná basin. *Environmental monitoring and assessment*, 189(2), 63.
- Fendrick, J. L.; Raafat, A. M. & Haslam, S. Z. (1998). Mammary gland growth and development from the postnatal period to postmenopause: ovarian steroid receptor ontogeny and regulation in the mouse. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 3(1), 7–22.
- Gaillard, E. (2011). *Génération futures et droit privé. Vers un droit des générations futures*. Editeur LGDJ.
- Gallardo, M. R. y Valtorta, S. E. (2009). Estrés por calor en ganado lechero: impactos y mitigación. *Hemisferio Sur*.
- Galoppo, G. H.; Canesini, G. (...) Muñoz de Toro, M. (2017). Bisphenol A disrupts the temporal pattern of histofunctional changes in the female reproductive tract of *Caiman latirostris*. *General and Comparative Endocrinology*, 254, 75–85.
- Galoppo, G. H.; Stoker, C. (...) Muñoz de Toro, M. (2016). Postnatal development and histofunctional differentiation of the oviduct in the broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*). *General and Comparative Endocrinology*, 236, 42–53.

- Gatewood, J. D.; Morgan, M. D. (...) Lomas, L. M. (2005). Motherhood mitigates aging-related decrements in learning and memory and positively affects brain aging in the rat. *Brain Res Bull.* 66, 91–98. 10.1016/j.brainresbull.2005.03.016
- Gaughan, J. B.; Holt, S. (...) Eigenberg, R. (2000). Respiration rate: is it a good measure of heat stress in cattle? *Asian-australas. J. Anim. Sci.*, 13 Supplement vol. C, 329–332.
- Ghiano, J.; García, K. (...) Taverna, M. (2011). Manejo del estrés calórico en el tambo. Alternativas de sombras. Ficha técnica 17. [www.inta.gov.ar/lecheria](http://www.inta.gov.ar/lecheria)
- Gomez, A. L.; Delconte, M. B. (...) Kass, L. (2017). Perinatal Exposure to Bisphenol A or Diethylstilbestrol Increases the Susceptibility to Develop Mammary Gland Lesions After Estrogen Replacement Therapy in Middle-Aged Rats. *Hormone and Cancer*, 8(2), 78–89.
- Guerrero Schimpf, M.; Milesi, M. M. (...) Varayoud, J. (2017). Neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide alters the development of the rat uterus. *Toxicology*, 376, 2–14.
- Guerrero Schimpf, M.; Milesi, M. M. (...) Varayoud, J. (2018). Glyphosate-based herbicide enhances the uterine sensitivity to estradiol in rats. *Journal of Endocrinology*.
- Gurr, G. M. & You, M. (2016). Conservation Biological Control of Pests in the Molecular Era: New Opportunities to Address Old Constraints. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1255–1264.
- Hahn, G. L. (1999). Dynamic responses of cattle to thermal heat loads. *J AnimSci* 77 Suppl, 2, 10–20.
- Hattiangady, B.; Rao, M. S. (...) Shetty, A. K. (2005). Brain-derived neurotrophic factor, phosphorylated cyclic AMP response element binding protein and neuropeptide Y decline as early as middle age in the dentate gyrus and CA1 and CA3 subfields of the hippocampus. *Exp Neurol.*, 195, 353–371. 10.1016/j.expneurol.2005.05.014
- Hayes, T. B.; Anderson, L. L. (...) Willingham, E. (2011). Demasculinization and feminization of male gonads by atrazine: Consistent effects across vertebrate classes. *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 127, 64–73.
- Hodgson, N. C.; Button, J. H. (...) Livingstone, A. S. (2004). Male breast cancer: is the incidence increasing? *Annals of Surgical Oncology*, 11(8), 751–755.
- Ingaramo, P. I.; Alarcón, R. (...) Luque, E. H. (2020). Are glyphosate and glyphosate-based herbicides endocrine disruptors that alter female fertility? *Molecular and Cellular Endocrinology*, 518, 110934.
- Ingaramo, P. I.; Varayoud, J. (...) Luque, E. H. (2017). Neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide alters uterine decidualization in rats. *Reproductive Toxicology*, 73, 87–95.
- Ingaramo, P. I.; Varayoud, J. (...) Luque, E. H. (2016). Effects of neonatal exposure to a glyphosate-based herbicide on female rat reproduction. *Reproduction*, 152(5), 403–415.
- Informe de la Plataforma Intergubernamental de Ciencia y Política sobre Biodiversidad y Servicios de los Ecosistemas. IPBES (2019).
- Izaguirre, M. F.; Lajmanovich, R. C. (...) Casco, V. H. (2000). Cypermethrin-Induced Apoptosis in the Telencephalon of *Physalaemus biligonigerus* Tadpoles (Anura: Leptodactylidae). *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 65(4), 501–507.
- Johnson, H. D. (1987). Bioclimate effects on growth, reproduction and milk production of livestock. En Johnson H. D. (Ed.). *Bioclimatology and Adaptation of Livestock*. *World Animal Science B-5* (pp. 2–26). Elsevier Scientific Publication.
- Johnson-Walker & Kaneene (2018). Epidemiology: Science as a Tool to Inform One Health Policy. En *Beyond One Health: From Recognition to Results, First Edition*. Edited by John A. Herrmann and Yvette J. Johnson-Walker. © 2018 John Wiley & Sons, Inc. Published 2018 by John Wiley & Sons, Inc.

- Kass, L.; Altamirano, G. A. (...) Muñoz de Toro, M. (2012). Perinatal exposure to xenoestrogens impairs mammary gland differentiation and modifies milk composition in Wistar rats. *Reproductive Toxicology*, 33(3), 390–400.
- Kass, L.; Durando, M. (...) Muñoz de Toro, M. (2015). Prenatal Bisphenol A exposure delays the development of the male rat mammary gland. *Reproductive Toxicology*, 54, 37–46.
- Kinsley, C. H. & Lambert, K. G. (2008). Reproduction-induced neuroplasticity: natural behavioural and neuronal alterations associated with the production and care of offspring. *J Neuroendocrinol*, 20, 515–525. 10.1111/j.1365-2826.2008.01667.x
- Kinsley, C. H.; Trainer, R. (...) Hester, N. (2006). Motherhood and the hormones of pregnancy modify concentrations of hippocampal neuronal dendritic spines. *Horm Behav*, 49, 131–142. 10.1016/j.yhbeh.2005.05.017
- Lajmanovich, R.; De La Sierra, P. (...) Lorenzatti, E. (2005b). Determinación de residuos de organoclorados en vertebrados silvestres del litoral fluvial de Argentina. En *Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino II*. INSUGEO, Miscelanea, 14: 255–262. Tucumán.
- Lajmanovich, R. C. y Peltzer, P. M. (2001). Evaluación de la diversidad de anfibios de un remanente forestal del aluvial del río Paraná (Entre Ríos–Argentina). *Boletín de la Asociación Herpetológica Española*, 12(1), 12–17.
- Lajmanovich, R. C.; Attademo, A. M. (...) Junges, C. M. (2009). Inhibition and recovery of brain and tail cholinesterases of *Odontophrynus americanus* tadpoles (Amphibia: Cycloramphidae) exposed to fenitrothion. *Journal of Environmental Biology*, 30(5), 923–926.
- Lajmanovich, R. C.; Cabagna, M. (...) Attademo, A. M. (2005a). Micronucleus induction in erythrocytes of the *Hyalapulchella* tadpoles (Amphibia: Hylidae) exposed to insecticide endosulfan. *Mutation Research*, 587(1–2), 67–72.
- Lajmanovich, R. C.; Junges, C. (...) Beccaria, A. (2015). Toxicity of *Bacillus thuringiensis* var. israelensis in aqueous suspension on the South American common frog *Leptodactylus latrans* (Anura: Leptodactylidae) tadpoles. *Environmental Research*, 136, 205–212.
- Lajmanovich, R. C.; Martinuzzi, C. S. (...) Curi, L. M. (2017). Amphibians: Possible Effects of Insect-Resistant Intacta RR2 ProR Soybean Diets on *Leptodactylus gracilis* Tadpoles. In Balenger, R. (Ed.). *Bacillus thuringiensis: Biological Characteristics, Toxicological Effects and Environmental Implications* (pp. 67–96). Nova Publishers.
- Lajmanovich, R. C.; Sandoval, M. T. & Peltzer, P. M. (2003). Induction of mortality and malformation in *Scinax nasicus* tadpoles exposed by Glyphosate formulations. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 70(3), 612–618.
- Lalonde, M. (1974). A new perspective on the health of Canadians. A working document. Ottawa: Government of Canada.
- Latorre, M. A.; Romito, M. L. (...) Siroski, P. A. (2016). Total and differential white blood cell counts in *Caiman latirostris* after in ovo and in vivo exposure to insecticides. *Journal of Immunotoxicology*, 13, 903–908.
- Lazarino, G. P.; Andreoli, M. F. (...) Ramos, J. G. (2017). Cafeteria diet differentially alters the expression of feeding-related genes through DNA methylation mechanisms in individual hypothalamic nuclei. *Mol Cell Endocrinol.*, 450, 113–125. 10.1016/j.mce.2017.05.005
- Legrand, A.; Schutz, K. E. & Tucker, C. B. (2011). Using water to cool cattle: Behavioral and physiological changes associated with voluntary use of cow showers. *J. Dairy Sci.*, 94(7), 3376–3386.
- Lenardon, A.; Maitre M. I. (...) Enrique, S. (2000). Plaguicidas en diversos medios: experiencias y resultados. INTEC, 23.

- Leva, P. E.; García, M. S. (...) Valtorta, S. E. (2005). Respuestas fisiológicas de vacas Holando argentino y cruce Jersey–Holando, en la cuenca lechera santafesina. *FAVE Ciencias Agrarias*, 4(1–2), 49–54.
- Ley Nacional 25675, Ley General del Ambiente. Senado y Cámara de Diputados de la Nación Argentina, 27 de noviembre de 2012.
- Li, Y.; Hallerman, E. M. (...) Peng, Y. (2016). The development and status of Bt rice in China. *Plant Biotechnology Journal*, 14, 839–848.
- Lorenz, V.; Milesi, M. M. (...) Varayoud, J. (2019). Epigenetic disruption of estrogen receptor alpha is induced by a glyphosate–based herbicide in the preimplantation uterus of rats. *Molecular and Cellular Endocrinology*, 480, 133–141.
- Luque, E. H.; Muñoz de Toro, M. & Ramos, J. G. (2018). Estrogenic agonist. En Skinner, M. K. (Coord.). *Encyclopedia of Reproduction* (2da. ed.). Vol. II (pp.753–759). Academic Press.
- Luque, E. H.; Muñoz de Toro, M. & Ramos, J. G. (2018). Estrogenic Agonist. En M. K. Skinner (Ed.). *Encyclopedia of Reproduction*. Vol. II (pp. 753–759).
- MacMahon, B.; Cole, P & Brown, J. (1973). Etiology of human breast cancer: a review. *Journal of the National Cancer Institute*, 50(1), 21–42.
- Mader, T.; Davis, M. & Krekemeier, W. (2005). Case study: Tympanic temperature and behavior associated with moving feedlot cattle. *The Professional Animal Scientist*, 21(4), 339–344.
- Magnusson, U. (2012). Environmental endocrine disruptors in farm animal reproduction: research and reality. *Reproduction in Domestic Animals*, 47 Suppl 4, 333–337.
- Maia, A. & Loureiro, C. B. (2005). Sensible and latent heat loss from the body surface of Holstein cows in a tropical environment. *Int J Biometeorol*, 50(1), 17–22.
- Mast, M. A.; Foreman, W. T. & Skaates, S. V. (2007). Current–use pesticides and organochlorine compounds in precipitation and lake sediment from two high elevation national parks in the Western United States. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 52, 294–305.
- Mauvais–Jarvis, F.; Clegg, D. J. & Hevener, A. L. (2013). The role of estrogens in control of energy balance and glucose homeostasis. *Endocr Rev.*, 34, 309–338. 10.1210/er.2012-1055
- Mc Dowel, R. E.; Hooven, N. W. & Camoens, J. K. (1976). Effect of climate on performance of Holsteins in first lactation. *J. Dairy Sci.*, 59(5), 965– 971.
- McGinnis, M.; Williams–Russo, P. & Knickman, J. (2002). The Case For More Active Policy Attention To Health Promotion. *Health Affairs*, 21(2) (c2002 ProjectHOPE–The People–to–People Health Foundation, Inc.).
- Milesi, M. M.; Lorenz, V. (...) Luque, E. H. (2018). Perinatal exposure to a glyphosate–based herbicide impairs female reproductive outcomes and induces second–generation adverse effects in Wistar rats. *Archives of Toxicology*, 92(8), 2629–2643.
- Mora, F.; Segovia, G. & Del Arco, A. (2007). Aging, plasticity and environmental enrichment: structural changes and neurotransmitter dynamics in several areas of the brain. *Brain Res Rev.*, 55, 78–88. 10.1016/j.brainresrev.2007.03.011
- Mostafalou, S. & Abdollahi, M. (2013). Pesticides and human chronic diseases: evidences, mechanisms, and perspectives. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 268(2), 157–177.
- Munoz de Toro, M.; Beldomenico, H. R. (...) Luque, E. H. (2006a). Organochlorine levels in adipose tissue of women from a Littoral region of Argentina. *Environ Res.*, 102, 107–112.



- Muñoz de Toro, M.; Durando M. (...) Luque, E. H. (2006b). Estrogenic microenvironment generated by organochlorine residues in adipose mammary tissue modulates biomarkers expression in ER $\alpha$ -positive breast carcinomas. *Breast Cancer Res.*, 19: R47.
- Muñoz de Toro, M. (2015). Plasticizer endocrine disruption: BPA effects in Caiman latirostris reproductive system. *SETAC Latin America 11th Biennial Meeting, Buenos Aires. Abstract*, 32, 7.
- Muñoz de Toro, M. & Luque, E. H. (1997). Lack of relationship between the expression of Hsp27 heat shock estrogen receptor-associated protein and estrogen receptor or progesterone receptor status in male breast carcinoma. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 60(5-6), 277-284.
- Neville, M. C.; McFadden, T. B. & Forsyth, I. (2002). Hormonal regulation of mammary differentiation and milk secretion. *Journal of Mammary Gland Biology and Neoplasia*, 7(1), 49-66.
- Novotny, V. (1999). Diffuse pollution from agriculture a worldwide outlook. *Water Science and Technology*, 39(3), 1-13.
- Organización de las Naciones Unidas (2016). Centro de noticias. <http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=33911#resources>
- Palmonari, A.; Stevenson, D. (...) Weimer, P. (2010). pH dynamics and bacterial community composition in the rumen of lactating dairy cows. *J. Dairy Sci.*, 93(1), 279-287.
- Pandit, R.; Mercer, J. G. (...) Adan, R. A. (2012). Dietary factors affect food reward and motivation to eat. *Obes Facts.*, 5, 221-242. 10.1159/000338073
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Akmentins, S. (2018). Componente 3. Amenazas. En Plan de Acción para la Conservación de los Anfibios de la República Argentina. *Cuadernos de Herpetología*, 32 (supl. 1), 29-35.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. & Beltzer, A. H. (2003). The effects of habitat fragmentation on amphibian species richness in the floodplain of the middle Paraná River. *Herpetological Journal*, 13, 95-98.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Goicoechea, H. C. (2017). Ecotoxicity of veterinary enrofloxacin and ciprofloxacin antibiotics on anuran amphibian larvae. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 51, 114-123.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Sandoval, T. (2019). Biototoxicity of diclofenac on two larval anuran amphibians: assessment of development, growth, cardiac function and rhythm, behavior and antioxidant system. *Science of the Total Environment*, 683, 624-637.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Basso, A. (2011). Morphological abnormalities in amphibian populations from the mid-eastern of Argentina. *Herpetological Conservation and Biology*, 6(3), 432-442.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Basso, A. (2008). Effects of agricultural pond eutrophication on survival and health status of *Scinaxnasicus* tadpoles. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 70, 185-197. Pesticides by Hazard and Guidelines to Classification.
- Peuhkuri, K.; Sihvola, N. & Korpela, R. (2011). Dietary proteins and food-related reward signals. *Food Nutr Res.*, 55. 10.3402/fnr.v55i0.5955
- Porcel De Peralta, M.; Scagnetti, J. A. (...) Simoniello, M. F. (2011). Evaluación de daño oxidativo al ADN y efecto de la susceptibilidad genética en una población laboral y ambientalmente expuesta a mezclas de plaguicidas. *FABICIB*, 15, 119-129.
- Primost, J. E.; Marino, D. J. (...) Carriquiriborde, P. (2017). Glyphosate and AMPA «pseudo-persistent» pollutants under real-world agricultural management practices in the Mesopotamic Pampas agroecosystem, Argentina. *Environmental Pollution*, 229, 771-779.

- Rauschenberger, R. H.; Wiebe, J. J. (...) Gross, T. S. (2007). Parental exposure to pesticides and poor clutch viability in American alligators. *Environmental Science & Technology*, 41, 5559–5563
- Rey, F.; González, M. (...) Muñoz de Toro, M. (2009). Prenatal exposure to pesticides disrupts testicular histoarchitecture and alters testosterone levels in male Caiman latirostris. *General and Comparative Endocrinology*, 162, 286–292.
- Rey, F.; Ramos, J. G. (...) Muñoz de Toro, M. (2006). Vitellogenin detection in Caiman latirostris (Crocodylia: Alligatoridae): a tool to assess environmental estrogen exposure in wildlife. *Journal of Comparative Physiology B*, 176, 243–251.
- Rhoads, M. L.; Rhoads, R. P. (...) Baumgard, L. H. (2009). Effects of heat stress and plane of nutrition on lactating Holstein cows; production, metabolism, and aspect of circulating somatotropin. *J. Dairy Sci.*, 92, 1986–1997.
- Robertshaw, D. (2006). Mechanisms for the control of respiratory evaporative heat loss in panting animals. *Journal of Applied Physiology*, 101(2), 664–668.
- Roenfeldt, S. (1998). You can't afford to ignore heat stress. *Dairy Herd Management*, 35, 6.
- Ronco, A. E.; Marino, D. J. G. (...) Apartin, C. D. (2016). Water quality of the main tributaries of the Paraná Basin: glyphosate and AMPA in surface water and bottom sediments. *Environmental monitoring and assessment*, 188(8), 458.
- Rossetti, M. F.; Cambiasso, M. J. (...) Cabrera, R. (2016a). Oestrogens and Progestagens: Synthesis and Action in the Brain. *J Neuroendocrinol.*, 28, 10.1111/jne.12402
- Rossetti, M. F.; Varayoud, J. (...) Ramos, J. G. (2018). Sex- and age-associated differences in episodic-like memory and transcriptional regulation of hippocampal steroidogenic enzymes in rats. *Mol Cell Endocrinol.*, 470, 208–218. 10.1016/j.mce.2017.11.001
- Rossetti, M. F.; Varayoud, J. (...) Ramos, J. G. (2016b). Pregnancy and lactation differentially modify the transcriptional regulation of steroidogenic enzymes through DNA methylation mechanisms in the hippocampus of aged rats. *Mol Cell Endocrinol.* 429, 73–83. 10.1016/j.mce.2016.03.037
- Rossetti, M. F.; Varayoud, J. (...) Ramos, J. G. (2015). Environmental enrichment attenuates the age-related decline in the mRNA expression of steroidogenic enzymes and reduces the methylation state of the steroid 5 $\alpha$ -reductase type 1 gene in the rat hippocampus. *Mol Cell Endocrinol.* 10.1016/j.mce.2015.05.024
- Rubin, B. S. (2011). Bisphenol A: an endocrine disruptor with widespread exposure and multiple effects. *Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology*, 127(1–2), 27–34.
- Sale, A.; Berardi, N. & Maffei, L. (2009). Enrich the environment to empower the brain. *Trends Neurosci*, 32, 233–239. 10.1016/j.tins.2008.12.004
- Sampey, B. P.; Vanhoose, A. M. (...) Makowski, L. (2011). Cafeteria diet is a robust model of human metabolic syndrome with liver and adipose inflammation: comparison to high-fat diet. *Obesity (Silver Spring)*. 19, 1109–1117. 10.1038/oby.2011.18
- Sarandon, S. J.; Marasas, M. E. (...) Oscares, E. (2006). Evaluación de la sustentabilidad del manejo de suelos en agroecosistemas de la provincia de La Pampa, Argentina, mediante el uso de indicadores. *Revista Brasileira de Agroecología*, 1(1), 497–500.
- Sassarini, J. & Lumsden, M. A. (2015). Oestrogen replacement in postmenopausal women. *Age Ageing*, 44(4), 551–558.

- Schutz, K. E.; Cox, N. R. & Matthews, L. R. (2008). How important is shade to dairy cattle? Choice between shade or lying following different levels of lying deprivation. *Appl. Anim. Behav. Sci.*, 114(3), 307–318.
- Schwartz, M. W.; Woods, S. C. (...) Baskin, D. G. (2000). Central nervous system control of food intake. *Nature*, 404, 661–671. 10.1038/35007534
- Servicio Nacional de sanidad y calidad agroalimentaria (SENASA, 2011). Productos Químicos, Resolución 511/2011: Prohíbese la importación del principio activo Endosulfan y sus productos formulados. *Boletín Oficial*, 32207, 13.
- Shetty, A. K.; Hattiangady, B. & Shetty, G. A.; 2005. Stem/progenitor cell proliferation factors FGF–2, IGF–1, and VEGF exhibit early decline during the course of aging in the hippocampus: role of astrocytes. *Glia*. 51, 173–186. 10.1002/glia.20187
- Shetty, G. A.; Hattiangady, B. & Shetty, A. K. (2013). Neural stem cell– and neurogenesis–related gene expression profiles in the young and aged dentate gyrus. *Age (Dordr.)*, 35, 2165–2176. 10.1007/s11357-012-9507-6
- Shimabukuro, R. H. & Swanson, H. R. (1969). Atrazine metabolism, selectivity, and mode of action. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 17, 199–205.
- Silanikove, N. (2000). Effects of heat stress on the welfare of extensively managed domestic. *Live stock Production Science*, 67, 1–18.
- Simoniello, M. F.; Contini, L. (...) Paira, S. (2017). Different end–points to assess effects in systemic lupus erythematosus patients exposed to pesticide mixtures. *Toxicology*, 376, 23–29.
- Simoniello, M. F.; Kleinsorge, E. C. (...) Carballo, M. A. (2008). DNA damage in workers occupationally exposed to pesticide mixtures. *Journal of Applied Toxicology*, 28(8), 957–965.
- Simoniello, M. F.; Kleinsorge, E. C. (...) Carballo, M. A. (2010). Biomarkers of cellular reaction to pesticide exposure in a rural population. *Biomarkers*, 15(1), 52–60.
- Soracco, C. G.; Villarreal, R. (...) Marino, D. J. (2018). Glyphosate dynamics in a soil under conventional and no–till systems during a soybean growing season. *Geoderma*, 323, 13–21.
- Sozzo, G. y Berros, M. V. (2009). *Una agenda para el principio precautorio*. *Revista Crítica de Derecho Privado*, 6. La Ley.
- Sozzo, G. y Berros, M. V. (2011). *Principio precautorio*. *Revista de Responsabilidad Civil y Seguros*, III, 28. La Ley.
- Speirs, V. & Shaaban, A. M. (2009). The rising incidence of male breast cancer. *Breast Cancer Research and Treatment*, 115(2), 429–430.
- Spiaggi, E.; Ottmann, G. y Miretti, A. (2013). *La sustentabilidad de sistemas productivos: el uso de indicadores*. Editorial Académica Española.
- Stoker, C.; Beldomenico, P.M. (...) Luque, E. H. (2008). Developmental exposure to endocrine disruptor chemicals alters follicular dynamics and steroid levels in Caiman latirostris. *General and Comparative Endocrinology*, 156, 603–612.
- Stoker, C.; Repetti, M. R. (...) Muñoz de Toro, M. (2011). Organochlorine compound residues in the eggs of broad–snouted caimans (Caiman latirostris) and correlation with measures of reproductive performance. *Chemosphere*, 84, 311–317.
- Stoker, C.; Rey, F. (...) Muñoz de Toro, M. (2003). Sex reversal effects on Caiman latirostris exposed to environmentally relevant doses of the xenoestrogenbisphenol. A. *General and Comparative Endocrinology*, 133, 287–296.

- Stoker, C.; Zayas, M. A. (...) Muñoz de Toro, M. (2013). The eggshell features and clutch viability of the broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) are associated with the egg burden of organochlorine compounds. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 98, 191–195.
- Sweeney, T.; Nicol, L. (...) Brooks, A. N. (2000). Maternal exposure to octylphenol suppresses ovine fetal follicle-stimulating hormone secretion, testis size, and Sertoli cell number. *Endocrinology*, 141(7), 2667–2673.
- Takahashi, O. & Oishi, S. (2000). Disposition of orally administered 2, 2-Bis(4-hydroxyphenyl) propane (Bisphenol A) in pregnant rats and the placental transfer to fetuses. *Environmental Health Perspective*, 108(10), 931–935.
- Tanentzap, A. J.; Lamb A. (...) Farmer, A. (2015). Resolving Conflicts between Agriculture and the Natural Environment. *PLoS Biol*, 13(9), e1002242.
- Tavaliere, Y. E.; Galoppo, G. H. (...) Muñoz de Toro, M. (2019). Sexual dimorphic pattern that characterize the external genitalia in juvenile *Caiman latirostris* is modified in sex reversed females. *General and Comparative Endocrinology*, 273, 236–248.
- Tavaliere, Y. E.; Galoppo, G. H. (...) Muñoz de Toro, M. (2020) Effects of agricultural pesticides on the reproductive system of aquatic wildlife species, with crocodylians as sentinel species (Review). *Molecular and Cellular Endocrinology*, 518, 110918.
- Teuten, E. L.; Saquing, J. M. (...) Takada, H. (2009). Transport and release of chemicals from plastics to the environment and to wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364, 2027–2045.
- UNECE (2017). United Nations Economic Commission for Europe. Globally Harmonized System of Classification and Labelling of Chemicals (GHS). Seventh Revised Edition, United Nations.
- Valassi, E.; Scacchi, M.; Cavagnini, F. (2008). Neuroendocrine control of food intake. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.*, 18, 158–168. 10.1016/j.numecd.2007.06.004
- Valtorta, S. E.; Gallardo, M. R. y Leva, P.E. 2004. Olas de calor: impacto sobre la producción lechera en la cuenca central argentina. En Asociación Argentina de Agrometeorología (Ed.). *Reunión Argentina, 10ma. y Latinoamericana 4ta. de Agrometeorología. Memorias en disco compacto*. Mar del Plata.
- Vandenberg, L. N.; Chahoud, I. (...) Schoenfelder, G. (2010). Urinary, circulating, and tissue biomonitoring studies indicate widespread exposure to bisphenol A. *Environmental Health Perspective*, 118(8), 1055–1070.
- Varayoud, J.; Monje, L. (...) Ramos, J. G. (2008). Endosulfan modulates estrogen-dependent genes like a non-uterotrophic dose of 17- $\beta$ estradiol. *Reproductive Toxicology*, 26, 138–145.
- Villar Aguirre, M. (2011) Factores determinantes de la salud: importancia de la prevención. *Acta Med Per* 28(4).
- West, J. W. (2003). Effects of heat-stress on production in dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 86, 2131–2144.
- White, J.; Kearins, O. (...) Speirs, V. (2011). Male breast carcinoma: increased awareness needed. *Breast Cancer Research*, 13(5), 219.
- World Health Organization (1998). Division of Health Promotion, Education, and Communication. Promoción de la salud: glosario. Ginebra- Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/67246>

- World Health Organization (2009). The WHO Recommended Classification of.
- World Health Organization (2016) World Health Organization. Preventing disease through healthy environments. A global assessment of the burden of disease from environmental risks. A Pruss-Ustun, J. Wolf, C.; Corvalan, R. Bos & Neira, M. Printed by the WHO Document Production Services.
- Ye, X.; Kuklennyik, Z. (...) Calafat, A. M. (2006). Measuring environmental phenols and chlorinated organic chemicals in breast milk using automated on-line column-switching-high performance liquid chromatography-isotope dilution tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography B: Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences* 831(1-2): 110-115.
- Zhang, X. & Ho, S. M. (2011). *Epigenetics meets endocrinology. J Mol Endocrinol*, 46, R11-32.

## Capítulo 6. Biodiversidad y desarrollo sustentable<sup>1</sup>

### **Biodiversidad: concepto, funciones, importancia y amenazas**

El término biodiversidad (o diversidad biológica) se emplea frecuentemente asociándolo a una región extensa para referirse no solo al número de especies que contiene, sino también a la variedad y variabilidad de los organismos que viven en ella, así como a los complejos ecológicos en los que estos organismos están presentes. La biodiversidad es importante desde el punto de vista ecológico y evolutivo dado que los ecosistemas mantienen funciones vitales para la vida de las especies —incluyendo al ser humano— así como desde el punto de vista socioeconómico, por el sostén que brinda en términos de materias primas para procesos de producción o bienes para el consumo y servicios ambientales.

Las relaciones entre sociedad y naturaleza están siendo cada vez más conflictivas. En la segunda mitad del siglo xx surgieron debates e iniciativas centrados en el concepto de desarrollo, en un contexto que buscaba compatibilizar el crecimiento económico con la cuestión ambiental y social. En este escenario, hacia fines de siglo, el concepto de desarrollo sostenible logró condensar las diversas perspectivas y posturas, en muchos casos fuertemente contradictorias, que tratan de responder a la pregunta: ¿cómo compatibilizar el desarrollo económico, herramienta para mejorar la calidad de vida de la gente, con una distribución amplia de la riqueza al tiempo que se busca garantizar la continuidad de los servicios ecosistémicos que usa el hombre? (CITIDES, 2017).

La definición de desarrollo sostenible más extensamente utilizada tal vez sea la establecida en el informe «Nuestro Futuro Común» elaborado por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en 1987, y que define al desarrollo sostenible como «la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades» (ONU, 1987; art.41 de la Constitución Nacional Argentina). Este concepto plantea la asociación entre el desarrollo, que implica específicamente un proceso de cambio para el mejoramiento de las condiciones de vida, el bienestar de los individuos y la sociedad en general, y la sostenibilidad, un término que denota la capacidad de mantener en el tiempo determinada situación o condición.

---

1 La pertenencia institucional de las autoras y los autores de este capítulo puede leerse al final del mismo.

Sin embargo, a pesar de los avances en posicionar el desarrollo sostenible en la agenda internacional, las tendencias negativas continúan prevaleciendo fundamentalmente en lo que respecta a la dimensión ambiental. El crecimiento económico ha sido alimentado por un consumo de recursos naturales sin precedentes, provocando serios impactos ambientales a escala local, regional y global. Grandes porciones de ecosistemas naturales han sido transformadas profundamente para el uso humano, lo que ha originado preocupaciones sobre la capacidad de la base natural para sostener tal crecimiento (*Intergovernmental Panel on Climate Change*, 2014).

La importancia de superar visiones reduccionistas y sesgadas del desarrollo está siendo reconocida a nivel internacional. Desde la Cumbre de la Tierra de 1992, las Naciones Unidas, en representación de los países miembros, propusieron diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), a alcanzar en el período 2015–2030 (ONU, 2015). Argentina, como parte de la comunidad internacional, también los adoptó. Entre las principales problemáticas del desarrollo sustentable de relevancia que nuestro país y la provincia de Santa Fe deben abordar, se encuentra la problemática del mantenimiento de los bienes y servicios ecosistémicos (*Millennium Ecosystem Assessment*, 2005).

En el siglo XXI coinciden crisis globales potenciadas sinérgicamente. Dos de ellas —la pérdida de biodiversidad y el cambio climático— requieren de la urgente elaboración de planes de gestión y manejo sustentable del territorio para minimizar los efectos antrópicos sobre la biodiversidad y sobre los bienes y servicios ecosistémicos que brindan a las comunidades locales (Giraud y Arzamendia, 2018). Es cada vez más evidente que la búsqueda de sostenibilidad exige integrar factores ambientales, económicos, sociales, culturales y políticos (Giraud y Arzamendia, 2014). La biodiversidad es un estabilizador ecológico dentro del desarrollo sostenible, porque mientras mayor sea la diversidad de los ecosistemas, las especies y los genes, los sistemas biológicos tendrán mayor capacidad de mantener la integridad de sus relaciones básicas (resiliencia) y sus procesos eco-evolutivos esenciales.

Nuestra provincia es rica en recursos naturales, que aportan bienes y servicios ecosistémicos esenciales para el funcionamiento y desarrollo de la sociedad. Proveen, por un lado, beneficios directos como la producción de alimentos (peces, por ejemplo), la provisión de agua, energía y recursos genéticos, la regulación de cuencas hídricas, inundaciones y calidad del aire, así como el control biológico y la polinización. Por otro lado, son servicios intangibles vinculados al sentido de pertenencia, la recreación, el goce estético y otros servicios culturales y hasta religiosos. Se los puede clasificar en tres grupos (Camargo *et al.*, 2012):

- 1) Servicios de abastecimientos o de provisión: son los beneficios materiales que las personas obtienen de los ecosistemas, por ejemplo, alimentos, agua, fibras, madera, combustibles, etc.;
- 2) Servicios culturales: son los beneficios no materiales que las personas obtienen a través de las experiencias estéticas, el turismo o el enriquecimiento espiritual;
- 3) Servicio de regulación: son los beneficios obtenidos por la biodiversidad al asegurar la regulación de los procesos ecosistémicos, por ejemplo, el control de enfermedades y plagas, y la polinización de los cultivos.

La provincia de Santa Fe se encuentra integrada a un paisaje donde más del 70 % se utiliza para la agricultura y pastoreo del ganado, y constituye una de las regiones más productivas de la Argentina (Soriano & Kandel, 1992).

Por otro lado, en cada una de las ecorregiones de la provincia de Santa Fe se localizan humedales de importancia, cuya extensión varía desde pequeñas charcas temporarias hasta sitios Ramsar conformados por miles de hectáreas. La biodiversidad presente en estos sistemas acuáticos es fundamental para el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Sin embargo, existen tensiones entre el uso del suelo que se implementa en cada una de las cinco ecorregiones, la calidad ambiental de sus cursos de agua y posibles efectos sobre la biota que alberga. En este marco, el conocimiento de las comunidades biológicas brinda una línea de base para la conservación y la producción del centro norte de la provincia de Santa Fe.

Diversos factores antrópicos amenazan la biodiversidad acuática de la provincia de Santa Fe y las posibilidades de un uso sostenible de los recursos naturales. Durante más de un siglo, cambios tales como la urbanización, agriculturización, contaminación por agroquímicos, eutrofización y los vertidos industriales han modificado severamente el paisaje en la región (Quirós, 2006). Entre ellos, pueden citarse el cambio drástico en los patrones de uso de la tierra en los últimos años, la modificación y regulación de los cursos de agua, la pérdida de conectividad hidrológica por medio de terraplenes y represas a diferentes escalas, la pesca extractiva, la liberación a gran escala de contaminantes industriales, agroquímicos, especies exóticas invasoras y el cambio climático. Estos factores generan impactos en su mayor parte desconocidos sobre la biodiversidad debido a la falta de información sobre el funcionamiento del sistema y también por la escasa información sobre las características y la magnitud de los factores antrópicos intervinientes.

Las modificaciones del paisaje debidas a diferentes actividades humanas como la agricultura, ganadería, urbanización, explotaciones forestales, obras civiles de envergadura (Attademo *et al.*, 2011a), entre otras, son un impor-



tante factor que pueden determinar cambios en los patrones de diversidad debido a que generan pérdida de hábitat, fragmentación progresiva del paisaje y aislamiento entre los parches remanentes, así como la degradación de la calidad del hábitat y de la matriz circundante (Hamer y Parris, 2011). En este contexto, la agricultura es una de las actividades humanas más importantes que afecta la diversidad de dos formas: la primera transformando los hábitats (por destrucción total y parcial) en tierras cultivables (Fahrig, 2003) y la segunda por la contaminación con agroquímicos tales como: biocidas y fertilizantes (Regaldo *et al.*, 2017).

Además, las problemáticas actuales en el área de la conservación de los ecosistemas, en particular los de agua dulce, se relacionan con la evaluación de la diversidad genética de poblaciones de diferentes especies consideradas clave. Los monitoreos genéticos son útiles para evaluar las consecuencias de la fragmentación del hábitat, entre ellas la endogamia en las poblaciones como producto de la reducción del flujo genético entre ellas, y la pérdida de diversidad genética.

En este capítulo se describen estudios desarrollados por grupos de investigación de la Universidad Nacional del Litoral (UNL) en relación con la biodiversidad de comunidades que habitan en el centro norte de la provincia de Santa Fe.

## Santa Fe y su biodiversidad

La provincia de Santa Fe se ubica en una de las regiones de mayor biodiversidad de Argentina, vinculada al río Paraná, el mayor reservorio de agua del país de excelente calidad, indispensable para la población humana y para el sostenimiento de su biodiversidad. Este enorme y diverso ecosistema, complejo y dinámico, posee una gran significación cultural puesto que proporciona los bienes y servicios ecosistémicos anteriormente citados. La provincia está representada por cinco ecorregiones (Figura 1): Chaco Seco (en el extremo noroeste), Chaco Húmedo (gran parte del norte), Espinal (en el centro), Pampeana (en el sur) y Selva Paranaense (en todo el margen este) (Burkart *et al.*, 1999; Cabrera, 1994; Pensiero, 2005). Esta conjunción de ecorregiones hace que gran parte del territorio provincial se presente como un amplio ecotono (de norte a sur y de este a oeste) de gran riqueza florística, con numerosos y variados ambientes, tales como bosques xerofíticos, arbustales, parques, palmares, cardonales, sabanas, pajonales, pastizales, praderas, bosques en galerías, cañaverales y esteros.

Sin embargo, el territorio está amenazado por actividades insostenibles debido a la creciente presión humana que genera alteraciones en el uso del suelo, represas, y urbanización, además de inundaciones y sequías más frecuentes y severas, debidas al cambio climático y modificación de las cuencas, que degradan la calidad ambiental disminuyendo su biodiversidad.

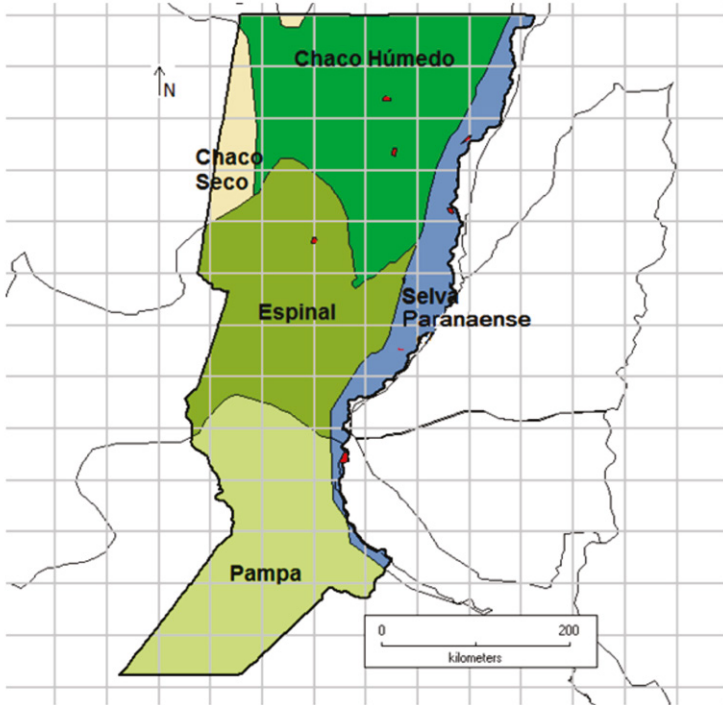


Figura 1. Ecorregiones de la provincia de Santa Fe. Modificado de Cabrera (1994).

### Diversidad florística

*José Francisco Pensiero*<sup>2</sup>

Una colección sistemática de la flora de cada una de las ecorregiones de la provincia de Santa Fe se halla en el Herbario «Arturo E. Ragonese» (reconocido internacionalmente con la sigla SF), que se conserva en la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNL y cuenta con unos 25000 especímenes de la flora regional. Otro herbario importante que posee nuestra provincia, con unos 10 000

<sup>2</sup> Departamento Biología Vegetal Facultad de Ciencias Agrarias, UNL.

especímenes, pertenece a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Rosario, conocido con la sigla UNR. Asociado al Herbario SF –y en el marco del Programa de Documentación, Conservación y Valoración de la Flora Nativa (PRODOCOVA), declarado de Interés Institucional de la UNL en 2011– se halla el Banco de Germoplasma «Ing. Agr. José M. Alonso», en el que se conservan a largo plazo semillas de especies de la flora nativa consideradas valiosas como recursos fitogenéticos. Buena parte de la flora presente en nuestra provincia se halla documentada, además, a través del Banco de Imágenes IRUPÉ,<sup>3</sup> que incluye 32 000 imágenes fotográficas de la flora y vegetación nativa, permitiendo distintos criterios de búsqueda.

Las colecciones conservadas en ambos herbarios universitarios, producto de numerosos trabajos y expediciones científicas, permitieron a Pensiero *et al.* (2005) realizar la primera contribución de conjunto referida a la flora de la provincia. En dicho trabajo se indican 1969 taxones para el territorio provincial, correspondientes a 727 géneros y 148 familias. El 82,5 % corresponden a especies nativas de Argentina, 9,2 % son naturalizadas, 2,9 % adventicias, 5 % son endémicos de Argentina y el 0,3 % son endémicos de la provincia de Santa Fe. La Tabla 1 muestra la biodiversidad y riqueza florística de Santa Fe en relación con las provincias vecinas.

**Tabla 1.** Biodiversidad (\*) y riqueza específica de la provincia de Santa Fe y provincias vecinas.

Provincia	Superficie en km <sup>2</sup>	Nº de taxones	Índice de Biodiversidad (*)
Santiago del Estero	135254	932	78.9
Chaco	99633	1793	155.8
Córdoba	168766	1958	162.7
Santa Fe	133007	1969	166.9
Buenos Aires	307571	2372	187.7
Entre Ríos	78781	2208	195.8
Corrientes	88199	2797	245.6

(\*) En todos los casos, el índice de biodiversidad taxonómica (B) se calculó como:  $B = n / \ln A$ , donde n es el número de taxones (nº de especies + taxones infraespecíficos) y ln A es el logaritmo natural del área bajo análisis (Squeo *et al.*, 1998; Zuloaga *et al.*, 1999).

3 [www.fca.unl.edu.ar/prodocova/IRUPE](http://www.fca.unl.edu.ar/prodocova/IRUPE).

Sobre la base de las colecciones analizadas, se observa que algunas familias botánicas presentan un área de distribución particular, algunas se hallan representadas exclusivamente en el norte de la provincia, mientras que otras solo habitan en el sur (Pensiero *et al.*, 2005).

De igual modo, numerosos géneros poseen una distribución restringida en la provincia. A modo de ejemplo, especies de los siguientes géneros habitan exclusivamente en el norte: *Myracrodruon* (Anacardiaceae), *Schubertia* (Apocynaceae), *Cordia* (Boraginaceae), *Crateva* (Capparaceae), *Cecropia* (Cecropiaceae), *Chloroleucon* (Fabaceae), *Holocalyx* (Fabaceae), *Lonchocarpus* (Fabaceae), *Muelleria* (Fabaceae), *Pisonia* (Nyctaginaceae), *Diplokeleba* (Sapindaceae), *Sapindus* (Sapindaceae), *Pouteria* (Sapotaceae), *Chrysophyllum* (Sapotaceae), *Brunfelsia* (Solanaceae), *Porlieria* (Zygophyllaceae), *Campylocentrum* (Orchidaceae), *Lithachne* (Poaceae), *Pharus* (Poaceae) y *Zizaniopsis* (Poaceae), entre otros.

Los taxones más exclusivos, los que resultan de mayor vulnerabilidad en el contexto de la flora provincial y nacional, son los endémicos de Santa Fe, aquellos que presentan una distribución que se restringe exclusivamente al territorio provincial (Tabla 2).

**Tabla 2.** Taxones endémicos de la provincia de Santa Fe.

Nombre científico	Forma de vida	Familia botánica
<i>Gymnocalycium shroederianum</i> Osten subsp. <i>boessii</i> R. Kiesling Marchesi & O. Ferrari	Hierba suculenta, perenne	Cactaceae
<i>Prosopis hassleri</i> Harms var. <i>nigroides</i> Burkart	Árbol	Fabaceae
<i>Prosopis nigra</i> (Giseb.) Hieron. var. <i>ragonesei</i> Burkart	Árbol	Fabaceae
<i>Prosopis mucromulata</i> D. LEgrand var. <i>robusta</i> D. Legrand	Hierba perenne?	Portulacaceae
<i>Habranthus schulzianus</i> Ravenna	Hierba perenne	Amaryllidaceae
<i>Aristida vexativa</i> Henrard	Hierba perenne?	Poaceae

## Diversidad de insectos de ambientes ruderales

César Salto,<sup>4</sup> Ruth Strasser<sup>4</sup> y Milagros Dalmazzo<sup>4</sup>

Por su ubicación geográfica y la calidad y extensión de sus suelos, la provincia de Santa Fe forma parte de la región agrícola–ganadera más productiva del país. En la actualidad, en los agroecosistemas de la región pampeana la vegetación de banquinas y márgenes de campos cultivados es percibida negativamente como fuente de malezas invasoras; además esta percepción está sesgada por aspectos culturales relacionados con cuestiones estéticas. Sin embargo, la presencia de vegetación espontánea en los sistemas agropecuarios locales no debe ser considerada competencia de los cultivos anuales y pasturas, sino como elementos que contribuyen a la reproducción de los insectos que realizan control natural de las plagas y polinización, entre otros servicios ecosistémicos (Torreta y Poggio, 2013; Saez *et al.*, 2014).

Desde hace poco más de una década, gran parte de la superficie de bordes de rutas y caminos ha sido utilizada para el cultivo de especies vegetales comerciales, fundamentalmente trigo y soja, y en menor medida alfalfa. En relación con ello, el Comité Interministerial de Salud Ambiental de la provincia de Santa Fe, sancionó en 2011 una resolución que establece la prohibición de la utilización, con fines agrícolas, de las banquinas de las rutas provinciales de la provincia de Santa Fe respetando a las superficies que por razones de seguridad deben permanecer «libre de obstáculos» y faculta a la Dirección de Vialidad Provincial a destruir todo tipo de cultivos que en esos espacios se realicen. Las mismas resoluciones contemplan la importancia de conservar las banquinas y bordes de caminos considerándolos corredores biológicos a fin de mejorar la conectividad ecológica y facilitar el flujo de especies permitiendo más y mejores espacios para su desplazamiento. Aparecieron argumentos encontrados y lo cierto es que aún hoy es posible ver márgenes de caminos y banquinas utilizados para la agricultura. En este contexto, el grupo de Entomología Aplicada de FHUC direcciona parte de sus investigaciones al uso sustentable de los márgenes de rutas y caminos de Santa Fe como potenciales corredores biológicos de la entomofauna; planteando como objetivo principal monitorear las banquinas de bordes de rutas y caminos para estimar la diversidad de insectos, sus relaciones con la vegetación presente y valorar potenciales servicios ecosistémicos brindados por los insectos a los agroecosistemas en los que se encuentran.

---

4 Cátedra de Entomología, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

Se encontró que las banquinas alojan más de 167 especies de insectos asociados a más de 20 familias vegetales de crecimiento espontáneo, corroborando la hipótesis de que estos ambientes actúan como reservorio de biodiversidad (Ghiglione *et al.*, 2018). Resulta interesante explorar esta medida de riqueza (número de especies de insectos) para comenzar a entender la gran relevancia que reviste el mantenimiento de estos ambientes naturales. Se registraron grupos de especies que cumplen funciones similares en el ambiente, generalmente vinculada a sus hábitos alimentarios y, por lo tanto, podemos pensar que estos grupos están ejerciendo determinado servicio ecosistémico asociado con esa característica de alimentación. Se estudiaron grupos de insectos depredadores que se alimentan de otros insectos, ya sea durante sus estados inmaduros y/o en estado adulto. Asimismo, las banquinas albergan lo que se conoce como complejo parasitoide, un grupo de especies de avispas de pequeño tamaño (micro Hymenópteros) que se desarrollan dentro de otros insectos, como por ejemplo pulgones, a los que matan cuando completan su desarrollo. Las presas que consumen los depredadores y parasitoides, en muchos casos constituyen una potencial amenaza para el cultivo, por lo que estaría ocurriendo un control biológico, ejercido por especies de Coleópteros conocidas como «vaquitas», especies de moscas (Dípteros) y avispas de pequeño y mediano tamaño (Hymenópteros) presentes en las banquinas del centro de la provincia, reportadas como entomofauna benéfica por su rol ecosistémico (Zumoffen *et al.*, 2017, 2018). La presencia de insectos herbívoros en las banquinas se asocia con las especies consumidas por depredadores y parasitoides manteniendo el recurso alimentario y dando viabilidad al complejo (Zumoffen *et al.*, 2015).

Los hallazgos en relación con los insectos visitantes florales son de notable interés para el servicio ecosistémico de polinización ya que las especies vegetales cultivadas en la región requieren polinización entomófila, como el girasol. Se ha señalado que la presencia de un ensamble de visitantes florales diverso mejora el servicio de polinización en diferentes cultivos (Garibaldi *et al.*, 2013). No obstante, las abejas son el grupo de insectos que por su comportamiento de colecta, transporte y almacenamiento de polen ejercen el efecto polinizador más importante. En los ambientes estudiados hemos encontrado una riqueza de abejas silvestres notable. Más de 160 especies de insectos visitan las flores de crecimiento espontáneo presentes en estos ambientes ruderales, de las cuales el 54 % son abejas. Los relevamientos realizados en 16 sitios de bordes de rutas y caminos durante los últimos cinco años indican que la diversidad de abejas silvestres está representada por las familias *Apidae*, *Andrenidae*, *Colletidae*, *Halictidae* y *Megachilidae* (con 33, 8, 4, 27 y 18 especies respectivamente). Para estas abejas se conoce el recurso floral que visitan y en función de esto se han identificado especies de interés para la polinización en

diferentes ambientes (Dalmazzo, 2010; Ghiglione *et al.*, 2018). Para conocer la viabilidad de la cría artificial de estas especies, fue necesario estudiar rasgos biológicos desconocidos. Se trata de especies del género *Augochlora* (*Halictidae*), son abejas nativas de tamaño pequeño (10–13 mm), color verde metalizado, muy frecuentes en los ambientes estudiados (Dalmazzo y Roig Alsina, 2011). En cuanto a los aspectos relacionados con la dieta, se estiman de interés para polinización por tratarse de abejas generalistas que consumen polen y néctar de más de diez familias vegetales (Dalmazzo y Vossler, 2015 a y b). Asimismo, las abejas estudiadas presentan un comportamiento no agresivo y se trata de especies sociales que construyen sus nidos en cavidades preexistentes en troncos en descomposición (Dalmazzo y Roig Alsina, 2012, 2015, 2018 a y b; Dalmazzo, 2018). Estas características son deseables en especies seleccionadas para cría artificial. Estudios de aspectos biológicos de interés para otros grupos taxonómicos hallados en estos relevamientos (avispa depredadora del género *Pachodynerus*) se encuentran actualmente en curso.

Por otro lado, el polen y néctar de las flores de crecimiento espontáneo constituyen un recurso indispensable para el desarrollo de la actividad apícola y la preservación de estos recursos es primordial para el progreso de la apicultura. El 34 % de las abejas melíferas se observó sobre flores de la familia de los tréboles y alfalfa (Familia Fabaceae: *Mellilotus* sp, *Trifolium repens* y *Medicago sativa*), el 27% sobre especies de mostacilla (*Brassicaceae*), el 25 % sobre comuestas (*Asteraceae*) y el 14 % visitó flor morada (*Boraginaceae*), siendo las especies de estas cuatro familias las más visitadas por *Apis mellifera*.

Como conclusión puede afirmarse que las banquinas con vegetación espontánea brindan al menos cuatro recursos para insectos depredadores, parasitoides y polinizadores:

- 1) Diversidad y continuidad en el tiempo de recurso floral, proporcionando polen y néctar durante todo el año como complemento dietario de insectos no apidos y fundamentalmente durante el periodo de actividad de las abejas silvestres (primavera–verano).
- 2) Herbívoros, insectos que se alimentan de tejido vegetal diferente a polen y néctar, que, si bien en algunos casos pueden ser considerados plaga, su presencia en las banquinas constituye el recurso alimentario de insectos controladores biológicos ayudando a mantener este complejo.
- 3) Refugio y sitio de nidificación (material para la construcción de nidos, como barro, tejidos y fibras vegetales) para la mayoría de los insectos y principal-

mente los polinizadores, que encuentran en las banquinas el único ambiente con tales recursos en los agroecosistemas.

- 4) La vegetación de crecimiento espontáneo de banquinas constituye un recurso floral de interés para la apicultura, brindando polen y néctar de calidad durante todo el año, suplementando la estacionalidad de la oferta floral generada por los cultivos vegetales de la zona.

## **Diversidad de fitoplancton**

*Wanda Polla*<sup>5</sup>

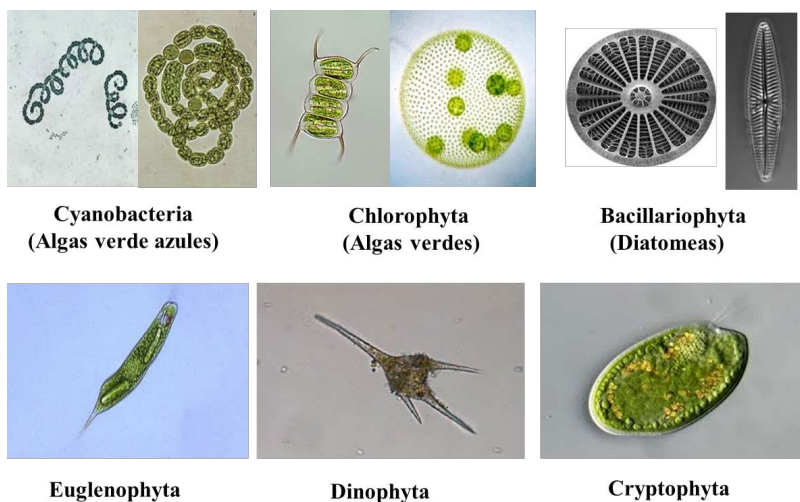
La importancia del fitoplancton en los ambientes acuáticos reside en que constituyen componentes biológicos que, por su diversidad morfológica, fisiológica y funcional, intervienen en numerosos procesos para el funcionamiento ecosistémico. Se ubican en la base de la trama trófica por ser autótrofos, conectando la materia orgánica con los niveles tróficos superiores y sosteniendo de esta manera la biodiversidad regional (Reynolds, 2006). Cumplen un papel fundamental en los ciclos biogeoquímicos del carbono, el fósforo y el nitrógeno que, junto con las bacterias, son responsables de la captación y transferencia de energía y materia en la trama trófica (Sherr & Sherr, 1991). Se utilizan como indicadores de los procesos que ocurren en los ecosistemas por su capacidad de responder de forma rápida a los cambios ambientales (Whitton & Kelly, 1995).

El fitoplancton se clasifica en grandes grupos, cada grupo tiene un único nombre científico válido que se escribe de la misma forma en todos los idiomas, facilitando la comunicación en la ciencia. Los principales grupos de fitoplancton de agua dulce son: Cyanobacteria (procariontas, algas verde-azules), Chlorophyta (algas verdes), Bacillariophyta (diatomeas), Euglenophyta, Dinophyta y Chrysophyta (Figura 2).

---

5 Laboratorio de Ecotoxicología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.





**Figura 2.** Principales grupos del fitoplancton en los ríos Paraná, Salado y las llanuras aluviales.

El estudio del fitoplancton a nivel regional comenzó con el equipo de investigación de García de Emiliani (1974). En la actualidad se cuenta con numerosos trabajos sobre la diversidad y la ecología del fitoplancton del río Paraná, río Salado, y sus llanuras aluviales (García de Emiliani & Devercelli, 2003, 2004; Polla *et al.*, 2008, 2010; Devercelli 2006, 2010). En la Figura 3 se mencionan resultados de trabajos sobre la dominancia de grupos del fitoplancton que fue encontrado en algunos puntos de la provincia de Santa Fe.



**Figura 3.** Puntos de muestreo mostrando los grupos más dominantes del fitoplancton (Provincia de Santa Fe). Punto 1– Río Salado, altura de la ciudad de San Justo (SJ). Punto 2– Río Salado, altura ciudad de Esperanza (EZA). Punto 3– Reserva Ecológica Universitaria (RECU). Extraído de Polla *et.al.*, 2008 y Di Pascuale *et al.*, 2017.

El conocimiento general del fitoplancton regional conlleva a otros estudios con especies de microalgas, utilizadas para evaluar la biorremediación de contaminantes. Actualmente se realizan estudios sobre la diversidad de los microorganismos en el Complejo Ambiental de la ciudad de Santa Fe, para lograr la optimización del tratamiento biológico de líquidos lixiviados generados por la disposición final de residuos sólidos urbanos (RSU).

El rendimiento en la remoción de contaminantes se encuentra íntimamente relacionado con el ensamble de microorganismos presente en la matriz del líquido a tratar. En el tratamiento de efluentes, las lagunas anaeróbicas y aeróbicas poseen una carga importante de microalgas (productoras de materia orgánica) y otros microorganismos (bacterias, hongos, ciliados y rotíferos que degradan la materia orgánica).

El conocimiento de la diversidad del fitoplancton es una herramienta fundamental para evaluar el potencial de remediación de contaminantes en los lixiviados e incluso para futuras aplicaciones biotecnológicas. Algunas especies de Chlorophyta pueden remover ciertos compuestos biodisponibles en dichos efluentes, aprovechándose como fuente de nutrientes, y también pre-

sentar tolerancia frente a la presencia de compuestos tóxicos que constituyen contaminantes ambientales (Regaldo *et al.*, 2020).

Sin embargo, poco se conoce acerca de la riqueza, la abundancia y la relación de los microorganismos con las variables fisicoquímicas que determinan la calidad del efluente de salida y, por lo tanto, la eficiencia del tratamiento. Esta temática está siendo abordada actualmente por Regaldo *et al.* (2018) y Polla *et al.* (2018).

A partir del trabajo en los lixiviados, también se estudiaron los ensambles de microalgas en el río Salado (tramo medio) en la influencia del vuelco. Los resultados de los atributos biológicos de microalgas (riqueza, diversidad y equitatividad) demostraron diferencias superiores aguas arriba (mayores asentamientos de industrias) y en aguas abajo con respecto al punto de vuelco, siendo Chlorophyta y Cianobacteria los grupos más dominantes. Las cianobacterias conformaron grandes colonias mucilaginosas, productoras de toxinas, y por lo tanto, muy poco apetecibles por los organismos heterótrofos. Contrariamente, en trabajos de Chlorophyta, son más apetecibles por los organismos heterótrofos por su alta calidad nutricional según los géneros determinados (Polla *et al.*, 2018). Destacamos la importancia de relacionar estos resultados de microalgas con los registros de zooplancton, ya que ambas comunidades son claves como indicadoras de la calidad ambiental.

## Resumen

Las microalgas son los principales productores de la materia orgánica y, por lo tanto, la base de la trama trófica de la biodiversidad regional.

Los estudios taxonómicos sobre microalgas son herramientas fundamentales para los trabajos biológicos y ecológicos, como también posibles herramientas biotecnológicas para la bioremediación de contaminantes.

## Diversidad de zooplancton y su valor como bioindicador

Ana María Gagneten<sup>6</sup> y Luciana Regaldo<sup>7</sup>

La comunidad zooplanctónica está integrada por pequeños invertebrados acuáticos representados mayoritariamente por rotíferos, cladóceros y copépodos, y constituyen la base de las tramas tróficas de ecosistemas acuáticos por alimentarse mayoritariamente de microalgas y material particulado, constituyendo la dieta de peces zooplanctófagos de pequeña talla y de larvas y juveniles de peces de mayor talla. Contribuyen al ciclaje de los nutrientes y a disminuir la eutrofización de ecosistemas acuáticos regionales.

Según los estudios seminales de José de Paggi (1990, 2004a; Paggi 2004), al menos 502 especies fueron estimadas en el río Paraná y su llanura de inundación (Figura 4).

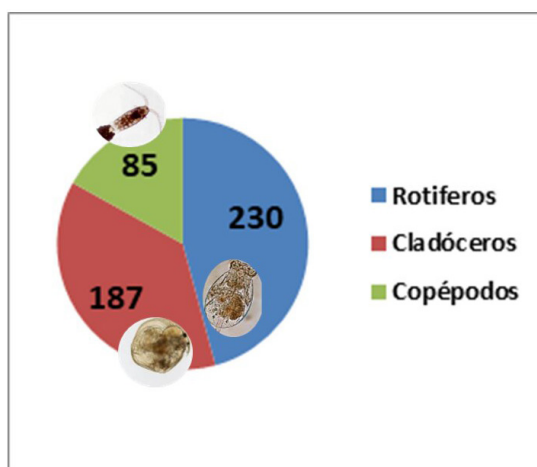


Figura 4. Número de especies estimadas (Total = 502 especies) de los tres principales grupos del zooplancton del río Paraná y su llanura de inundación.

Entre los rotíferos, la mayor diversidad corresponde a los géneros *Brachionus*, *Lecane* y *Trichocerca*. La mayoría de las especies tienen una distribución cosmopolita y algunas son consideradas endémicas de la región Neotropical (región biogeográfica que incluye América del Sur, Centroamérica, Antillas, una parte de Estados Unidos y una parte de México). Entre los cladóceros, la mayor diversidad corresponde a *Diaphanosoma*, seguido por *Ceriodaphnia*, *Moina*, *Bosmina* y *Daphnia*. A diferencia de los rotíferos, la mayoría de

6 Laboratorio de Ecotoxicología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

7 Laboratorio de Ecotoxicología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL (CONICET-UNL).

las especies de cladóceros son endémicas neotropicales. Entre los copépodos calanoideos, la mayor diversidad corresponde a *Notodiatomus*, un género endémico del neotrópico, mientras que entre los copépodos ciclopoideos los géneros más diversos son *Mesocyclops*, *Thermocyclops* y *Microcyclops* (José de Paggi y Paggi, 2007).

En los ambientes lóticos, con baja diversidad y densidad, dominan los rotíferos y larvas nauplio. Las lagunas poco profundas de la llanura de inundación tienen comparativamente mayor densidad y mayor frecuencia de copépodos adultos, así como de rotíferos de mayor tamaño (entre 30 y 1500 micras) (José de Paggi, 1980 y 1984; Paggi, 1980). Los factores que controlan la diversidad y abundancia del zooplankton fluvial son principalmente físicos y vinculados al pulso de inundación del río. Contrariamente, la mayor heterogeneidad ambiental de las lagunas de la llanura de inundación, ofrecen una variedad de microhábitats en las cuales las interacciones bióticas tales como la competencia y la depredación adquieren mayor importancia (José de Paggi, 1993, 2004b).

Numerosas especies zooplantónicas representativas del litoral fluvial argentino se utilizan en el Laboratorio de Ecotoxicología de la Facultad de Humanidades y Ciencias (FHUC–UNL) como organismos bioindicadores o centinelas, es decir, indicadores de efectos de diversos xenobióticos (metales, plaguicidas, contaminantes emergentes tales como antibióticos y nanopartículas) en estudios en microcosmos, mesocosmos y campo.

Algunos resultados revelaron asociaciones de especies indicadoras en el río Salado en su tramo inferior, en condiciones que permitieron considerarlo entre meso y polisaprobios (Gagneten *et al.* 2007). El río Salado a través del arroyo Cululú, recibe metales (Cromo, Cobre y Plomo) mayores a los estándares permitidos (Gagneten y Ceresoli, 2004). Esta situación se agrava por la contaminación difusa por agroquímicos (plaguicidas y nutrientes) aportados por escorrentía o lixiviación de campos aledaños.

Los estudios de campo en el río Salado permitieron identificar que el cromo y el sulfuro afectaron al zooplankton, el cobre y el plomo afectó significativamente a los copépodos, siendo los cladóceros los mejores indicadores de deterioro ambiental (Gagneten y Paggi, 2009).

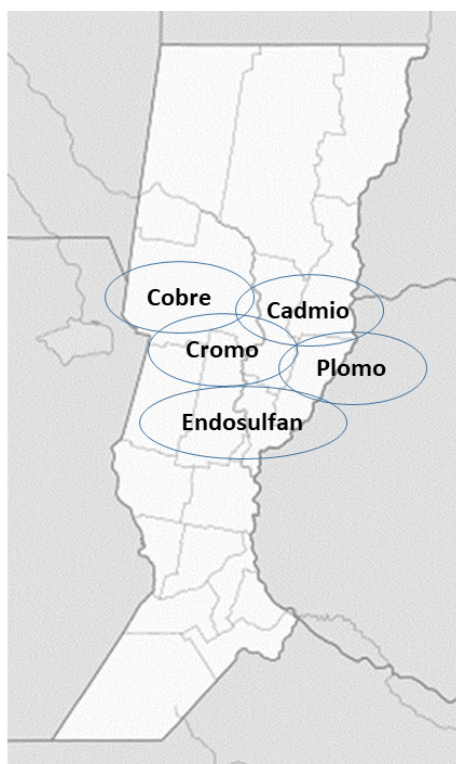
Más recientemente Regaldo *et al.* (2017), estudiaron la contaminación por metales cromo (Cr), cobre (Cu) y plomo (Pb) y el metaloide arsénico (As) y plaguicidas (atrazina y endosulfán) en el sistema de los arroyos Colastiné–Corralito, que atraviesan zonas agrícolas e industriales del centro sur de la provincia de Santa Fe y desembocan en el río Coronda.

En agua el Cr, Pb, Cu y As excedieron 181,5; 41,6; 57,7 y 12,9 veces los niveles guía (NGC) propuestos para la protección de la biota acuática (*Canadian Environmental Quality Guidelines*, NGC, 2003); La atrazina no superó los nive-

les guía, mientras que el endosulfán (prohibido en Argentina y muchos otros países) los superó 44 veces. En sedimentos, el Cr, Pb, Cu y As excedieron 1,91; 1,36; 1,31 y 5,34 veces respectivamente, los NG (Figura 5).

Aún en un ambiente protegido, la Reserva Natural Urbana del Oeste (RNUO), Vaschetto *et al.* (2019), registraron en agua dulce superficial el Cr, Pb, Cu y Cd que excedieron 1,72; 1,5; 1,86 y 7,22 veces los niveles guía propuestos para la protección de la biota acuática. En sedimentos solo el Cr superó los NGC hasta 2,18 veces.

En sistemas lóticos del sur de la provincia de Santa Fe, Regaldo *et al.* (2018) comunicaron contaminación por metales (Cr, Pb, Cu, Cd) As y plaguicidas de los sistemas lóticos estudiados. El único metal que no excedió los NGC establecidos para la protección de la biota acuática fue el Zn. En agua el Cr, Pb, Cu, Cd y As excedieron 2,9; 10; 1,9; 1,4 y 9,6 veces los niveles guías propuestos para la protección de la biota acuática. La atrazina superó 22 veces los NGC. En sedimentos, el Cr, Pb y As excedieron 3,3; 2,9 y 2,9 veces los niveles guía (figura 5).



**Figura 5.** Provincia de Santa Fe. Se muestran los contaminantes que superaron los niveles guía, permitidos para la protección de la biota acuática en agua dulce superficial.

Por otra parte, la estructura de ensamblajes de especies del zooplancton y del zoobentos (organismos asociados al sedimento de fondo de los ambientes acuáticos) está siendo utilizada para elaborar índices de calidad ambiental (Marchese *et al.*, 2019). Romero *et al.* (2019) estudiaron el zooplancton en arrozceras bajo distintas prácticas de manejo: cultivo convencional (con aplicación de agroquímicos) y agroecológico (sin tales aplicaciones). Los resultados mostraron que el manejo agroecológico de las arrozceras fue compatible con una mayor abundancia de todos los grupos y mayor riqueza y diversidad de especies del grupo más sensible a contaminantes (Cladocera).

En ensayos de toxicidad crónica de cobre, cromo y plomo sobre dos especies de cladóceros representativos del litoral fluvial argentino (*Moinodaphnia macleayi* y *Ceriodaphnia dubia*), comparándolo con *D. magna*, una especie que no habita nuestros ambientes, se encontró que el cobre afectó significativamente distintos atributos de historia de vida de las tres especies. Bajas concentraciones de cobre y plomo no afectaron sobrevivencia, crecimiento y fecundidad de *D. magna* pero sí de las dos especies nativas (Regaldo *et al.*, 2016), por lo que se destaca la importancia de utilizar especies zooplanctónicas representativas del hemisferio sur como bioindicadores, dada su mayor sensibilidad y representatividad.

Por su parte, Gagneten *et al.* (2014) analizaron posibles efectos del herbicida glifosato (N-fosfometilglicina) sobre parámetros poblacionales de *Ceriodaphnia reticulata*, no encontrando efectos adversos sobre la sobrevivencia, pero el incremento en la concentración del contaminante produjo disminución significativa de la fecundidad. La reproducción y fecundidad de estos microorganismos disminuyeron con el aumento en la concentración de glifosato, mostrando que este parámetro integrador es un buen bioindicador de toxicidad. Otro parámetro poblacional evaluado fue la tasa intrínseca de crecimiento poblacional, aunque no fue tan relevante como la tasa reproductiva neta (Gagneten *et al.*, 2011).

En estudios desarrollados por Reno *et al.* (2016) se comparó la tasa reproductiva neta en poblaciones experimentales de *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia dubia* expuestas a cuatro formulados de glifosato. También en este caso, la fecundidad fue el atributo más afectado en las dos especies. Una comparación con otras especies de cladóceros indica que las especies representadas en el litoral fluvial argentino sobre las cuales no existía información ecotoxicológica, tales como *Pseudosida variabilis*, *Echinisca elegans*, *Moina micrura*, *Ceriodaphnia reticulata*, *Ceriodaphnia dubia*, y *Moinodaphnia macleayi*, en general más conocidas como «pulgas de agua», son especies sensibles y se proponen

para ser utilizadas como bioindicadoras en ensayos ecotoxicológicos. Entre los copépodos, se propone a *Eucyclop sneumani*, *Mesocyclops longisetus*, *Argyrodiaptomus falcifer* y *Notodiaptomus conifer*.

Son escasos los estudios ecotoxicológicos multiespecíficos que aborden el efecto de xenobióticos sobre ensambles de especies. Al respecto, el estudio de mesocosmos con una complejidad intermedia entre los estudios de campo y de laboratorio es una aproximación experimental muy útil porque permite analizar el efecto de contaminantes sobre la comunidad (y aún comparar comunidades ante igual exposición). Así, Gagneten y Marchese (2003) estudiaron el efecto del herbicida Paraquat sobre ensambles de zooplankton y zoobentos del río Paraná Medio y la capacidad de recuperación. El herbicida provocó disminución de la abundancia y biomasa de los individuos más grandes (cladóceros, copépodos adultos y moluscos) y el ensamble de zoobentos requirió mayor tiempo de recuperación por sus ciclos de vida más largos. A diferencia del bentos, la riqueza de especies del zooplankton fue menos afectada que su densidad. El estudio mostró que concentraciones ambientalmente relevantes son perjudiciales para dos comunidades clave de ecosistemas de agua dulce.

El grupo de trabajo comparó atributos biológicos y aspectos ecológicos de especies nativas con los de otras especies estandarizadas a nivel mundial que habitan en el hemisferio norte, como por ejemplo, *Daphnia magna*. Se encontró que las especies nativas son más sensibles a contaminantes que las del hemisferio norte. Estos resultados podrían generar desequilibrios importantes en los ecosistemas estudiados y dan cuenta del potencial del zooplankton como bioindicador de contaminación. Cuando se estudió el efecto agudo de un formulado de glifosato sobre dos especies de cladóceros y la capacidad de recuperación de los organismos sobrevivientes, se encontró que posexposición, los organismos vivieron menos, no se reprodujeron y perdieron la capacidad de recuperarse al efecto del glifosato (Reno *et al.* 2014).

El equipo de trabajo comunicó los valores de metales y plaguicidas en numerosos ambientes del centro norte de la provincia de Santa Fe en el capítulo Control de riesgo hídrico en este mismo volumen. Más recientemente, se estudiaron los efectos de plaguicidas y contaminantes emergentes (antibióticos, nanopartículas metálicas) sobre organismos no blanco (Eluk *et al.*, 2016; Romero *et al.*, 2019 y 2020 a y b, Reno *et al.*, 2018 a y b, Kergaravat *et al.*, 2018; 2021 a y b).



## Resumen

- La Ecotoxicología, mediante estudios ecofisiológicos, ecológicos y etológicos de especies planctónicas, permite evaluar contaminación puntual y difusa de distintos contaminantes en medio acuático y terrestre a distintas escalas: laboratorio, mesocosmos y campo.
- Las especies zooplanctónicas nativas son más sensibles a metales pesados y plaguicidas que las exóticas. Sin embargo, son muy incipientes los estudios ecotoxicológicos de contaminantes emergentes tales como antibióticos y nanopartículas metálicas, por lo que se recomienda evaluar su ecotoxicidad sobre especies nativas.
- En ambientes acuáticos, los monitoreos fisicoquímicos y biológicos de zooplancton permiten cuantificar plaguicidas y metales y compararlos con niveles guía permitidos nacionales e internacionales. Sin embargo, no existen niveles guía en agua, sedimentos y sólidos totales suspendidos, de algunos contaminantes de amplio uso en la provincia de Santa Fe, por lo que se aconseja realizar estudios ecotoxicológicos con especies nativas y proponer niveles guía de aplicación a nivel nacional.
- En la provincia de Santa Fe se registraron metales (Cr, Cu, Pb, Cd), el metaloide As y plaguicidas (atrazina y endosulfán) que superaron los niveles guía permitidos, incluyendo xenobióticos de uso prohibido en Argentina y otros países.
- Especies planctónicas mostraron su gran potencial como bioindicadoras de contaminación ambiental. El monitoreo fisicoquímico y biológico aporta conocimiento clave para evaluar efectos de contaminantes a corto y mediano plazo que permitan implementar acciones de control, manejo y gestión ambiental.

## Diversidad de peces e interacciones

*Pablo Scarabotti*,<sup>8</sup> *Silvina Chemes*<sup>9</sup> y *Liliana Rossi*<sup>10</sup>

La ictiofauna de la provincia de Santa Fe presenta un total de 223 especies de peces (Liotta, 2019) de las cuales 201 pertenecen al eje fluvial del río Paraná

---

8 Laboratorio de Ictiología, Instituto Nacional de Limnología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL (CONICET-UNL).

9 Cátedra de Ecología, Departamento Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

10 Cátedra de Entomología, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias (CONICET-UNL).

y 149 están presentes en los cuerpos de agua del interior de la provincia. El patrón de distribución de la biodiversidad de estos vertebrados muestra un aumento de la riqueza de sur a norte y de oeste a este y está afectado fuertemente por la presencia del río Paraná, que funciona como un corredor biológico para un gran número de especies de la fauna Neotropical. Esta gran cantidad de especies es explicada por la heterogeneidad de hábitats, el dinamismo temporal producto de la variabilidad hidrológica del río Paraná y sus ambientes asociados. De las especies exóticas registradas, solo dos están firmemente establecidas: la carpa común (*Cyprinus carpio*) y el pez mosquito (*Gambusia holbrooki*).

Los estudios pioneros realizados en la región desde la década de 1960 por el Instituto Nacional de Limnología, permitieron obtener información valiosa sobre la dinámica del ecosistema del río Paraná y las variaciones espaciales y temporales en las abundancias de las principales especies de peces, que permitieron sustentar las primeras medidas de manejo de los recursos acuáticos de la provincia (reseñados en Cordiviola de Yuan, 1992; Quirós y Vidal, 2000; Rossi *et al.*, 2007).

Estudios más recientes en el mismo sector han permitido comprender las complejas interacciones entre la variación ambiental y la abundancia de las especies. Se observó que la temperatura, la profundidad de las lagunas, la cobertura vegetal y la transparencia del agua afectan diferencialmente la composición de las especies en función de las estrategias de vida y los modos de orientación subacuática de los peces (Scarabotti *et al.*, 2011a). Otra línea de estudios (Abrial *et al.*, 2014; Espínola *et al.*, 2016; Abrial *et al.*, 2018) ha demostrado que las especies con diferentes estrategias reproductivas muestran variaciones interanuales en su abundancia de acuerdo con la magnitud de las inundaciones del río Paraná y su interacción con la variación estacional en la temperatura (Abrial *et al.*, 2018). A grandes escalas espaciales, los ensambles de peces responden a una serie de factores ambientales que no se observan a nivel local, como son los gradientes térmicos latitudinales y la variación en la geomorfología de la planicie (Scarabotti *et al.*, 2017). En conjunto, estas observaciones tienen una gran utilidad práctica para desarrollar programas de monitoreo para comprender el funcionamiento ecológico de los grandes ríos neotropicales en el contexto actual del cambio global.

La gran productividad de los ambientes del río Paraná ha dado lugar al desarrollo de una pesquería comercial multiespecífica, en la cual el sábalo (*Prochilodus lineatus*) es la especie predominante, seguido por el surubí, la boga, el armado, el patí, el dorado, el bagre amarillo y el moncholo, entre otros (Iwasquiw y Firpo, 2011). Se desarrolla, además, una importante actividad de pesca recreativa —con mayor magnitud en el sector centro norte de la provin-

cia— enfocada en las especies de gran porte como los grandes bagres (surubí y patí) y el dorado, además de una gran variedad de especies (Del Barco, 2008). Por otro lado, el acuarismo de especies nativas es una actividad creciente. Sin dudas, la falta de información sobre el efecto de la pesca artesanal, recreativa y para acuarismo es uno de los problemas más urgentes a solucionar, en relación con el uso sostenible de las poblaciones de peces de la provincia.

Un grupo que merece particular atención por su biología y su vulnerabilidad, son las rayas de río. En la cuenca del río Paraná habitan seis especies de rayas del género *Potamotrygon*. Las características biológicas de las rayas de río (lento crecimiento, madurez sexual tardía, larga gestación y pocas crías) hacen que estas especies sean muy sensibles a la pesca y que algunas especies estén mostrando declinaciones en sus poblaciones (Lucifora *et al.*, 2017).

La determinación de las tasas de crecimiento en las especies de peces es un dato clave para el manejo pesquero. Estudios recientes en el sábalo (Espinach Ros *et al.*, 2012), utilizando marcas de crecimiento en huesos del cráneo (otolitos) indicaron tasas de crecimiento mucho más lentas que las que se suponía previamente, observando edades máximas de hasta 25 años. Este dato puntual cambió radicalmente la perspectiva de los modelos poblacionales de esta especie, con fuertes implicancias para el manejo de las pesquerías. En los últimos años se han realizado pocos avances en este tema y quedan por determinar las tasas de crecimiento de muchas especies que requieren especial atención como son el manguruyú (*Zungaro jahu*) y la raya gigante (*Potamotrygon brachyura*), entre muchas otras especies.

Las variables reproductivas (fecundidad, estacionalidad reproductiva) han sido estudiadas en varias especies de peces del río Paraná (reseñados en López *et al.*, 2006; Borzone Más *et al.*, 2019). El sábalo, cuya biología reproductiva es una de las más conocidas (Sverlij *et al.*, 1993), tiene una dinámica poblacional íntimamente ligada a los pulsos de inundación del río. Esta especie desova en las aguas corrientes de ríos y arroyos durante la primavera y el verano. La cantidad de huevos liberados por la población suele ser similar de año a año, pero los juveniles tienen una supervivencia mucho mayor durante los años con inundaciones extraordinarias y determinan el ingreso de una gran cantidad de individuos juveniles a la población (Lozano *et al.*, 2019). Estas camadas «supernumerarias» inciden en la población adulta y generan una abundancia mucho mayor de individuos de edades coincidentes con los grandes pulsos de inundación y pueden sostener la pesquería por períodos tan extensos como una década (Espinach Ros *et al.*, 2012).

Existe una tendencia decreciente en varias especies de peces en el Paraná debido a la sobrepesca. Algunas especies como el pacú y el manguruyú han experimentado notables declinaciones poblacionales durante la última mitad

del siglo xx, hasta desaparecer casi por completo de las capturas comerciales de la provincia (Rabuffetti *et al.*, 2017). Para la raya gigante, por ejemplo, la pesca es un factor de perturbación de mayor importancia que la modificación del hábitat en el tramo medio del río Paraná (Lucifora *et al.*, 2016). Otro estudio registró grandes disminuciones en la abundancia de rayas en el período comprendido entre 2005 y 2016 en relación con la presión de pesca estimada (Lucifora *et al.*, 2017).

La mayor parte de las especies de peces de gran porte y de importancia económica son especies migradoras. Estudios de marcado directo de miles de ejemplares durante las décadas de 1960 a 1980 han detectado migraciones de gran escala en el dorado, el sábalo, la boga y en ambas especies de surubí que pueden cubrir distancias de más de 1000 km (Bonetto *et al.*, 1981). La mayoría de las especies realizan desplazamientos aguas arriba con fines reproductivos y aguas abajo para alimentarse, aprovechando la gran disponibilidad de recursos que posee la llanura aluvial del río. Durante períodos de carencia de oxígeno en el agua –que ocurren con frecuencia en el verano–, varias especies de peces de pequeño porte y juveniles de especies migratorias como el pacú y el dorado, desarrollan adaptaciones morfológicas que les permiten aprovechar más eficientemente el oxígeno de la película superior de la columna de agua (Scarabotti *et al.*, 2011b; Fernández Osuna y Scarabotti, 2016).

Las relaciones tróficas de las especies de peces del río Paraná se han estudiado principalmente a nivel específico (reseñados en Rossi *et al.*, 2007), siendo pocos los trabajos a nivel de ensamble de especies (Oliveros, 1980). No obstante, recientemente se han comenzado a consolidar abordajes a nivel de trama trófica (Marchese *et al.*, 2013; Saigo *et al.*, 2015; 2016).

En cuanto a otras interacciones, la consideración de los parásitos como componentes importantes de los ecosistemas ha tenido un progresivo aumento durante la última década, considerando que los parásitos modifican las dinámicas poblacionales de sus hospedadores, alteran la competencia entre especies, influyen en el flujo de energía y constituyen importantes componentes de la biodiversidad (Hudson *et al.*, 2006; Hatcher *et al.*, 2012).

Si bien el estudio de los ictioparásitos en la región data de 1930, las investigaciones destinadas a su conocimiento no se sostuvieron en el tiempo, habiéndose relevado la parasitofauna asociada al 20 % de las especies de peces que habitan este tramo del río Paraná, particularmente especies de valor comercial o deportivo (Chemes y Takemoto, 2011). Desde 2003, se viene desarrollando esta línea de investigación en el ámbito de la FHUC, vinculada al estudio de la composición, comportamiento y estado de conservación de los peces del sistema Paraná Medio. Así, se han estudiado poblaciones de peces de los ríos Salado, Coronda, San Javier, Colastiné y Tiradero Viejo y su parasito-

fauna asociada, como también de numerosas lagunas típicas del valle aluvial del Paraná Medio, hacia la ribera santafesina. Más recientemente, se ha iniciado el análisis de estas relaciones parásito–hospedador en ambientes periurbanos con elevada intervención antrópica, como son el lago del Parque General Manuel Belgrano y los reservorios de la Reserva Natural Urbana del Oeste, ambos dentro del ejido urbano de la ciudad capital; así como también el estudio de los parásitos asociados a poblaciones de peces en cautiverio con fines productivos. Hasta la fecha, se han identificado en la región más de 80 endo y ectoparásitos de diversos grupos taxonómicos, entre los que se destacan las duelas de las branquias (*Monogenea*), los piojos de los peces (*Branchiura*), las anclas de los peces (*Lerneidae*) y los principales grupos de gusanos intestinales (*Eucestoda*, *Digenea*, *Nematoda* y *Acanthocephala*), entre otros (Figura 6).

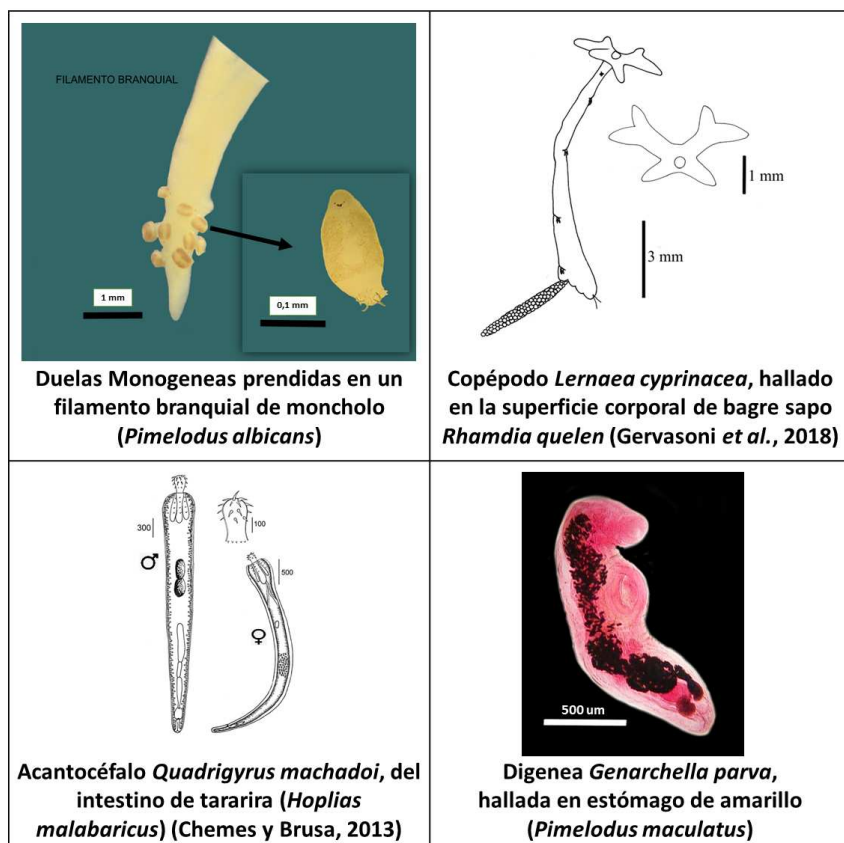


Figura 6. Parásitos de peces hallados en ambientes santafesinos.

Además de la identificación de las especies, algunas de las cuales han sido nuevas para la ciencia, se indaga particularmente la relación con el hospedador, evaluando la condición sanitaria de los peces, así como el potencial zoonótico de los parásitos y otros aspectos de índole ecológica, que permiten comprender el rol que cumplen en estos ecosistemas del centro norte santafesino. Entre algunos hallazgos de interés, se destaca la identificación de larvas del nemátodo anisákido de interés zoonótico, *Contracaecum* sp. Larva tipo 2, en tarariras (*Hoplias spp*) y en dorados (*Salminus brasiliensis*) (Chemes y Takemoto, 2005; Brusa *et al.*, 2019). También, se registraron numerosas especies de ectoparásitos Monogenea y Lerneidae, que resultan de interés ya que suelen causar graves daños en producciones intensivas, dada su rápida colonización en ambientes confinados en los que provocan pérdidas en las tasas de crecimiento, facilitan el ingreso de infecciones secundarias y pueden generar alta mortalidad (Chemes *et al.*, 2008; Chemes, 2012; Chemes y Gervasoni, 2013). Pero, aunque frecuentemente solo se asocia la presencia de parásitos con la idea de enfermedad, patología o muerte, esto es discutido por numerosos autores, dado que existen evidencias de que esta interacción facilita procesos de coevolución, promueve en muchos casos el fortalecimiento del sistema inmunitario de los peces y se traduce en tramas tróficas más complejas y mayor estabilidad en los ecosistemas. Además, al ser los parásitos siempre más pequeños que sus hospedadores, tienden a ocupar niveles tróficos superiores, reflejando una mayor asimilación y eficiencia de producción, por lo que constituyen componentes principales en la eficiencia de la transferencia trófica (Hechinger *et al.*, 2011). Con estos postulados se han realizado y se continúan actualmente, diversas investigaciones en la región, hallándose interesantes resultados.

## Resumen

- La provincia de Santa Fe presenta una diversa ictiofauna con más de 200 especies de peces, muchas de las cuales son explotadas económicamente para la pesca comercial, el turismo y la acuicultura y representan valiosos recursos naturales.
- Aunque se han desarrollado numerosos estudios sobre características reproductivas, alimentarias y de comportamiento migratorio de algunas especies, como así también estudios de dinámicas poblacionales y de patrones de biodiversidad, aún resta conocer aspectos básicos de la biología de muchas especies, que son esenciales para un manejo sustentable de la ictiofauna de la provincia.

- Resulta primordial analizar simultáneamente los parásitos junto con sus hospedadores de vida libre, para explicar la complejidad de las interacciones, la biodiversidad y la dinámica trófica de los ecosistemas.

## Diversidad de anfibios

Javier A. López<sup>11</sup> y Andres Maximiliano Attademo<sup>12</sup>

La distribución de la anfibiafauna santafesina (ranas, sapos, escuerzos y cecili-  
lias) sigue un patrón latitudinal, con una disminución de la riqueza de especies  
hacia el sur y una penetración de muchos taxones por medio del corredor bio-  
lógico que representa el río Paraná y sus humedales (Ghirardi y López, 2017).  
Por ello, de las 51 especies de anfibios presentes en la provincia de Santa Fe,  
50 habitan el centro y norte santafesino (Tabla 3), lo que representa casi el 30  
% de las especies de anfibios de Argentina (Vaira *et al.*, 2012). Tanto en la eco-  
rregión del Chaco Húmedo como en el valle aluvial del río Paraná se encuen-  
tran alrededor de 40 especies de anfibios, mientras que más hacia el oeste pro-  
vincial, en la ecorregión del Chaco Seco y en el Espinal, en el centro de la  
provincia están representadas alrededor de 20 especies (Pautasso *et al.*, 2017).

Los anfibios han sido considerados buenos indicadores de la salud del eco-  
sistema, ya que su ciclo de vida acuático–terrestre los hace especialmente vul-  
nerables a las perturbaciones o modificaciones del ambiente. Además, son  
controladores naturales de plagas, puesto que se alimentan de muchos inver-  
tebrados considerados perjudiciales para el hombre y sus cultivos (Attademo  
*et al.*, 2005, 2007 b, c, Peltzer *et al.*, 2010).

Los nexos que los humanos establecen con este grupo de vertebrados pue-  
den estudiarse desde distintos enfoques. Por ejemplo, Gallardo (1994) docu-  
mentó en Argentina las actitudes que las personas tienen respecto a estos  
animales, analizando diversas narrativas vinculadas a los mismos. En tanto,  
Gutiérrez Usillos (2002) estudió la relación simbólica que los humanos sos-  
tienen con la batracofauna. También, se relevaron los conocimientos ecoló-  
gicos que los pobladores poseen y las otras formas de acuerdo con la cual los  
ordenan —taxonomías folk— (Santos–Fita *et al.* 2011), así como la interven-  
ción de los mismos en las farmacopeas y las dietas de diversos colectivos socio-  
culturales (Barbarán, 2004). En Santa Fe, la atención ha sido puesta en el uso

---

11 Grupo de Estudio sobre Anfibios, Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrá-  
podos, Instituto Nacional de Limnología. Laboratorio de Genética, Departamento de Cien-  
cias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL (CONICET–UNL).

12 Laboratorio de Ecotoxicología. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL  
(CONICET–UNL).

de las ranas como alimento, ya que su caza y consumo conforma una actividad importante y tradicional, especialmente en el área del litoral fluvial santafesino. En algunos sitios de Argentina se consume la rana toro (*Lithobates catesbeianus*), especie exótica criada en cautiverio pero altamente invasiva y perjudicial para las especies nativas (Ghirardi *et al.*, 2011). En cambio, en el centro norte santafesino el consumo de ranas se relaciona casi exclusivamente con actividades de caza de ejemplares silvestres de especies nativas (Medrano y Ceballos, 2017). Este tipo de actividad, que se encuentra escasamente documentada, vuelca al mercado ejemplares de mediano y gran porte de dos o tres especies nativas del género *Leptodactylus* (Medrano y Ceballos, 2017).

Por otro lado, se ha demostrado que la piel de los anfibios es una fuente prolífica de compuestos con una amplia gama de actividad biológica incipientemente explorados (Tyler *et al.*, 2007). La bioactividad de los compuestos presentes en el extracto de su piel resulta de interés en los ámbitos más diversos de uso humano y veterinario, por ejemplo, para su uso contra enfermedades neurodegenerativas, por sus efectos antitumorales, analgésicos, inmunomoduladores, su potencial como inhibidores enzimáticos, como antibióticos, fungicida y bactericida (ej. Siano *et al.*, 2014, Conlon *et al.*, 2014, Spinelli *et al.*, 2018, 2019a, 2019b). Particularmente, los extractos de la piel de al menos 10 especies de anfibios del centro norte santafesino han sido estudiados en la UNL, con resultados prometedores como agente multiobjetivo en la enfermedad de Alzheimer, como agente antiproliferativo contra leucemia monocítica aguda humana, y como fuente de péptidos antibacterianos (Siano *et al.*, 2018; Spinelli *et al.*, 2019a, 2019b), entre otros.

En los últimos años, la provincia de Santa Fe experimentó un gran crecimiento en la producción del cultivo de arroz gracias al aumento de los rendimientos, y a la expansión de las áreas productivas. Los ecosistemas agrícolas, como las plantaciones de arroz, son sistemas ecológicos transformados por las actividades productivas, que no obstante de su simplificación paisajística (ausencia de bordes de campo o corredores biológicos; Baselga, 2010), contienen una importante diversidad biológica (Bambaradeniya *et al.*, 2004; Duré *et al.*, 2008). Por otra parte, durante su desarrollo la planta de arroz se ve afectada por una gran diversidad de plagas. Bajo el panorama productivo actual, una gran cantidad de agroquímicos de rápida acción y fácil aplicación son utilizados para combatir a los diferentes invertebrados (CASAFE, 2011).

Para valorar el impacto de los agroquímicos en anfibios de la región se efectuaron diversos estudios a campo donde se establecieron los niveles de enzimas como la butirilcolinesterasa, carboxilesterasa y estrés oxidativo (Attademo *et al.*, 2007, 2011b). En todos estos trabajos, se hallaron diferencias significativas de estos biomarcadores, comparando anfibios que fueron recolectados



en áreas agrícolas (cultivos de arroz y soja) con uso intenso de agroquímicos de aquellos registrados en áreas naturales como reservas y parques naturales. Complementariamente, fueron registrados cambios en los parámetros hematológicos e infección por hemoparásitos (Attademo *et al.*, 2011b). Además, se determinaron cambios en los niveles de ácido retinoico en plasma de adultos de *Leptodactylus macrosternum* presentes en dichos agroecosistemas (Teglia *et al.*, 2015). Complementariamente, se realizaron investigaciones con renacuajos en limnocorralles acordes al tipo ecomorfológico de las especies en dichos cultivos extensivos y se observaron disminuciones en la actividad enzimática y cambios en la morfológica (Attademo *et al.*, 2014). Los resultados obtenidos evidencian que las poblaciones de anfibios anuros presentes en ambientes agrícolas se encuentran expuestas de forma constante a las condiciones de estrés ambiental provocadas por el intenso uso de plaguicidas.

Es por ello que es fundamental el desarrollo de nuevas alternativas que permitan la expansión de áreas cultivables de una forma amigable con el ambiente. En este sentido, los anfibios constituyen una gran parte de la biomasa y revisten fundamental importancia a la hora de conocer los ecosistemas. En este sentido, es fundamental el aprovechamiento de los enemigos naturales (parásitos y depredadores) para mantener las poblaciones de artrópodos perjudiciales para la agricultura dentro de los límites tolerables. Al comparar la diversidad funcional de anfibios en arrozceras con manejo convencional (con utilización de agroquímicos) y con enfoque agroecológico (sin agroquímicos), los datos obtenidos sugieren que los cultivos de arroz agroecológicos albergan una mayor diversidad y riqueza de anfibios en relación con los cultivos tradicionales (Attademo *et al.*, 2018). Estudios de dieta realizados a través de técnicas invasivas no destructivas (vaciado estomacal) en dos especies de anfibios rana criolla (*L. macrosternum*) y rana maulladora (*Physalaemus albonotatus*) en un cultivo de arroz con producción agroecológica mostraron que estos individuos se alimentan de diferentes artrópodos, muchos de ellos considerados perjudiciales. Por lo que se destaca el rol de los anfibios que habitan en agroecosistemas como controladores biológicos de artrópodos perjudiciales para cultivos.

## Resumen

- El centro norte santafesino alberga una gran diversidad de anfibios.
- Los anfibios colaboran directamente con el control biológico de plagas en los cultivos y de otros insectos perjudiciales para el hombre mediante su depredación.

- La piel de los anfibios es una fuente prolífica de compuestos con una amplia gama de actividad biológica de interés en los ámbitos más diversos de uso humano y veterinario.
- Los anfibios forman parte de la cultura santafesina de formas muy variadas y existe una actividad importante y tradicional de algunas especies para su venta y consumo.

**Tabla 3.** Lista de especies de anfibios que habitan el centro norte santafesino. Se brinda el nombre científico, nombre vulgar y se señalan las especies con valor cinegético (comercial–gastronómico) y aquellas cuyos extractos de piel han sido estudiados por investigadores de UNL para evaluar la bioactividad de los componentes peptídicos.

Especies de anfibios del centro y norte santafesino	Nombre vulgar	Con valor cinegético, comercial–gastronómico	Con extractos de piel analizados por la bioactividad de sus componentes
ORDEN ANURA			
Familia Bufonidae Gray, 1825			
<i>Melanophryniscus aff. montevidensis</i>	Sapito panza colorada		
<i>Melanophryniscus atroluteus</i>	Sapito banderita española / Sapito negro panza roja		
<i>Melanophryniscus klappenbachi</i>	Sapito de colores de Klappenbach		
<i>Rhinella arenarum arenarum</i>	Sapo común		
<i>Rhinella bergi</i>	Sapo de Berg / Sapito granuloso chico		
<i>Rhinella fernandezae</i>	Sapito panza amarilla		
<i>Rhinella major</i>	Sapito chaqueño		
<i>Rhinella schneideri</i>	Sapo cururú / Sapo rococó / Sapo buey		
Familia Ceratophryidae			

<i>Ceratophrys cranwelli</i>	Escuercito / Escuerzo chaqueño	
<i>Lepidobatrachus asper</i>	Sapo de las salinas	
<i>Lepidobatrachus laevis</i>	Sapo chaqueño	
Familia Hylidae		
<i>Argenteohyla siemersi pedersenii</i>	Rana tractor / Rana de Pedersen / Rana de patas rojas	
<i>Dendropsophus nanus</i>	Ranita enana / Yuii chaqueña	X
<i>Dendropsophus sanborni</i>	Ranita enana de Sanborni / Yuii misionera	
<i>Boana pulchella</i>	Ranita del zarzal / Ranita trepadora	X
<i>Boana punctata rubrolineatus</i>	Rana punteada	
<i>Boana raniceps</i>	Rana de barras moradas / Rana trepadora chaqueña	
<i>Lysapsus limellum</i>	Ranita boyadora enana / Ranita nadadora chica	
<i>Phyllomedusa azurea</i>	Rana mono chaqueña chica	
<i>Phyllomedusa sauvagii</i>	Rana mono de vientre pintado	
<i>Pseudis minuta</i>	Rana boyadora	X
<i>Pseudis platensis</i>	Rana paradoxa	X
<i>Scinax acuminatus</i>	Rana trepadora hocicuda chaqueña	
<i>Scinax berthae</i>	Ranita trepadora hocicuda chica / Ranita de pintas naranjas	
<i>Scinax fuscomarginatus</i>	Ranita trepadora narigona	

<i>Scinax fuscovarius</i>	Ranita trepadora hocicuda		
<i>Scinax nasicus</i>	Ranita trepadora hocicuda / Ranita de los baños / Ranita de los tanques		
<i>Scinax squalirostris</i>	Ranita trepadora hocicuda rayada		
<i>Trachycephalus typhonius</i>	Rana lechosa		
Familia Leptodactylidae			
<i>Adenomera diptyx</i>	Rana tropical		
<i>Leptodactylus bufonius</i>	Ranita alfarera / Rana silvadora		
<i>Leptodactylus elenae</i>	Rana marmolada de labio blanco		
<i>Leptodactylus fuscus</i>	Rana rufa		
<i>Leptodactylus gracilis</i>	Ranita rayada	X	
<i>Leptodactylus laticeps</i>	Rana coralina / Rana de las vizcacheras		
<i>Leptodactylus latinasus</i>	Ranita urnera / Rana piadora		
<i>Leptodactylus luctator</i>	Rana criolla / Ayuí	X	X
<i>Leptodactylus macrosternum</i>	Rana chaqueña	X	X
<i>Leptodactylus mystacinus</i>	Rana de bigotes		X
<i>Leptodactylus podicipinus</i>	Ranita vientre punteado		

<i>Physalaemus albonotatus</i>	Ranita maulladora / Ranita llorona	
<i>Physalaemus biligonigerus</i>	Ranita de cuatro ojos / Ranita llorona	
<i>Physalaemus riograndensis</i>	Ranita de Río Grande	
<i>Physalaemus santafecinus</i>	Rana ladradora	X
<i>Pseudopaludicola boliviana</i>	Ranita de pantano boliviana	
<i>Pseudopaludicola falcipes</i>	Rana enana de Hensel	X
<i>Pseudopaludicola mystacalis</i>	Rana enana brasileña	
Familia Microhylidae		
<i>Dermatonotus muelleri</i>	Rana de cabeza chica	
<i>Elachistocleis bicolor</i>	Ranita aceituna / Ranita hocicuda	X
Familia Cycloramphidae		
<i>Odontophrynus americanus</i>	Escuerzo chico / Escuercito común	
<i>Odontophrynus lavillai</i>	Escuercito santiagoño / Escuercito de Ceí	
ORDEN GYMNOPHIONA		
Familia Typhlonectidae		
<i>Chthonerpeton indistinctum</i>	Cecilia / Tapalcúa	

## Diversidad de reptiles, aves y mamíferos

Docentes investigadores de la FHUC (UNL) y del INALI (CONICET–UNL), estudian desde hace tres décadas los vertebrados amniotas. En la provincia de Santa Fe se registraron 82 especies de reptiles, unas 440 especies de aves y unas 89 especies de mamíferos (Giraudo y Moggia, 2006, Fandiño y Giraudo, 2010, 2012, Pavé *et al.*, 2017), siendo una de las provincias más diversas de la región subtropical–templada de Sudamérica. Lamentablemente, entre las aves y los mamíferos, se encuentran la mayor cantidad de especies extinguidas y amenazadas a nivel provincial, totalizando cuatro especies de aves extinguidas en Santa Fe: la munitú (*Crax fasciolata*), el yetapá de collar (*Alectrurus risora*), el chingolo cabeza negra (*Coryphaspiza melanotis*) y la loica pampeana (*Sturnella difilippii*), y lamentablemente el jacinto glauco (*Anodorhynchus glaucus*), está extinguido a nivel global (Fandiño y Giraudo, 2012). Entre los mamíferos, se extinguieron el yaguareté (*Panthera onca*) y el lobo gargantilla o nutria gigante (*Pteronura brasiliensis*) y varias especies están al borde de la extinción, de no tomarse medidas urgentes que eviten la destrucción de sus hábitats y su persecución. Por ejemplo, el ciervo de los pantanos (*Blastocerus dichotomus*), el venado de las pampas (*Ozotoceros bezoarticus*), el tapir (*Tapirus terrestris*), el oso hormiguero (*Myrmecophaga tridactyla*) y el pecari labiado (*Tayassu pecari*), entre otros (Giraudo, 2009). Esta defaunación tiene consecuencias indeseables en los ecosistemas, ya que las aves y mamíferos tienen funciones esenciales como depredadores, herbívoros, dispersando frutos, y hasta modelando ecosistemas mediante su efecto mecánico o de herbivoría, por ejemplo, carpinchos y ciervos en humedales (Giraudo, 2009). Habitan en Santa Fe mamíferos exóticos asilvestrados, introducidos para la cacería, como el jabalí o chanchos cimarrones (*Sus scrofa*), el ciervo axis (*Axis axis*), el antílope negro (*Antilope cervicapra*) y la liebre europea (*Lepus capensis*), que constituyen una grave amenaza para la biodiversidad y las especies autóctonas (Giraudo *et al.*, 2006, Giraudo, 2009).

Los patos (Anatidae), palomas (Columbidae) y perdices (Tinamidae) han sido objeto en Santa Fe, de actividades cinegéticas de cacería con plomo durante décadas, reportándose contaminación con plomo en estos animales, en los humedales y en su vida silvestre, lo que representa una grave problemática ambiental, que debe ser abordada, para lo que se está implementando la prohibición de munición con plomo (Ferreira, 2011).

El modo de uso de los ecosistemas puede influir en los patrones de diversidad de algunas especies. Lorenzón *et al.* (2020) compararon la diversidad funcional de aves entre dos agroecosistemas bajo manejos diferentes: arroceras bajo manejo tradicional versus agroecológico. En base a rasgos funcio-

nales tróficos tales como categorías de presa, microhábitat trófico, modo de búsqueda y captura de presas, se calcularon y compararon índices de riqueza, divergencia, equidad y dispersión funcional de las especies de aves registradas entre tipos de arrozceras, utilizando pruebas basadas en permutaciones. Entre los índices considerados, la riqueza y la dispersión funcional fueron mayores en arrozceras bajo manejo agroecológico en relación con el manejo tradicional. El uso de los estratos arbóreo y arbustivo como microhábitats tróficos y las dietas que incluyeron el consumo de frutos y peces estuvieron mejor representadas en la arrozcera bajo manejo agroecológico. Así, los resultados sugirieron que el manejo agroecológico de las arrozceras se asocia con una mayor diversidad funcional de aves debido a la mayor heterogeneidad en la composición florística y oferta trófica que implica este tipo de manejo.

#### Propuestas para la conservación de la biodiversidad de tetrápodos en la provincia de Santa Fe

En las últimas décadas el Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrápodos del INALI (CONICET–UNL) ha publicado varios estudios usando los vertebrados como indicadores de la biodiversidad para detectar vacíos de conservación y aplicarlos en estrategias de conservación con bases científicas y transdisciplinarias (Arzamendia y Giraudo, 2004, 2009, 2012 y Cristaldi *et al.*, 2019). En el 2001, se aborda desde un enfoque interdisciplinar, en conjunto con Ambiente de la provincia, FHUC–FCA (UNL), INTA, INCUPO, y municipios de Reconquista la gestión participativa y creación del Sitio Ramsar Jaaukani-gás, en el sector con mayor biodiversidad provincial, que propugna por el uso sostenible manteniendo las actividades compatibles con el ambiente y propiciando el bienestar de los pobladores. La gestión de este humedal a través del primer Comité Intersectorial de Manejo creado en Argentina, sirvió de base e inspiración para la creación y gestión transdisciplinaria de otros humedales de importancia internacional en Santa Fe y provincias vecinas como Chaco y Entre Ríos (Giraudo y Arzamendia, 2014). Estas grandes áreas no representan reservas estrictas, sino más bien sectores en donde los objetivos de conservación se logran con la participación social y con la difusión y ordenamiento de actividades humanas sostenibles.

En estudios en la provincia de Santa Fe, se seleccionaron áreas prioritarias para la conservación analizando los patrones biogeográficos y la biodiversidad de reptiles, aves y mamíferos amenazados y raros, para hacer más eficientes los recursos económicos y humanos invertidos en áreas protegidas, minimizando los conflictos con otros usos humanos (ver Arzamendia y Giraudo,

2004, 2009, 2012, Cristaldi *et al.*, 2019). Como resultado se obtuvieron alternativas para optimizar el diseño del sistema de áreas protegidas en la provincia de Santa Fe. La determinación de áreas de endemismos (AE) identifica patrones congruentes de distribución que son el primer paso para regionalizaciones biogeográficas objetivas (Escalante *et al.*, 2009, Giraud y Arzamendia, 2018), unidades esenciales para ser representadas en sistemas de áreas protegidas. Se detectaron áreas de endemismos para 7745 registros de 311 especies raras y (primer cuartil conjugando distribución y abundancia) y amenazadas (especies con elevada probabilidad de extinguirse) de serpientes, aves y mamíferos en Santa Fe, provincia que contiene alguna de las ecorregiones más amenazadas de Sudamérica (Chaco, Selva Paranaense y Pampas). Aplicamos un análisis de endemicidad (Szumik y Goloboff, 2004) y luego comparamos las AE con la representatividad de las áreas protegidas. Detectamos siete AE (con cuadrículas de  $0.50^\circ$ ) de las cuales cuatro coinciden con regionalizaciones previas: Nordeste con Chaco Húmedo, definida por 29 especies de todos los grupos: como la serpiente musurana (*Clelia clelia*), el carpintero copete pajizo (*Celex lugubris*), surucúa (*Trogon surrucura*), el mono carayá (*Alouatta caraya*), tapir (*Tapirus terrestris*) entre otros (Figura 7); Noroeste coincide con Chaco Seco, con 11 especies de todos los grupos: como la culebra nariguda (*Philodryas baroni*), Lampalagua o boa de las vizcacheras (*Boa constrictor*), batará estriado (*Myrmochilus strigilatus*), gallito copetón (*Rhinocrypta lanceolata*), lechuza chaqueña (*Strix chacoensis*), mataco (*Tolypeutes matacus*) (Figura 7); Sur coincidente con Pampas, con cuatro especies de aves: la calandria mora (*Mimus patagonicus*), bandurria austral (*Theristicus melanopis*), monjita chocolate (*Neoxolmis rufiventris*) y la agachona chica (*Thinocorus rumicivorus*) (Figura 7); y un área más extensa que incluye la Selva Paranaense+Chaco Húmedo con 29 especies de aves y mamíferos (Figura 7). Un patrón nuevo incluye Pastizales+humedales con 87 especies de todos los grupos. Adicionalmente, detectamos tres AE con cuadrículas de  $0.25^\circ$ , ubicadas dentro del Nordeste (Chaco Húmedo) y Noroeste (Chaco Seco) que incluyen especies amenazadas que no conformaban AE con celdas de  $0.50^\circ$  y son importantes en acciones de conservación.

Las AE permiten identificar áreas comunes ocupadas por varias especies raras y amenazadas de serpientes, aves y mamíferos de Santa Fe, que muestran distribuciones coincidentes. Estas aumentan la eficiencia para captar todas las especies en la menor cantidad de cuadrículas ubicadas en los extremos noroeste (Chaco Seco), noreste (Chaco Húmedo–Selva Paranaense) y sureste

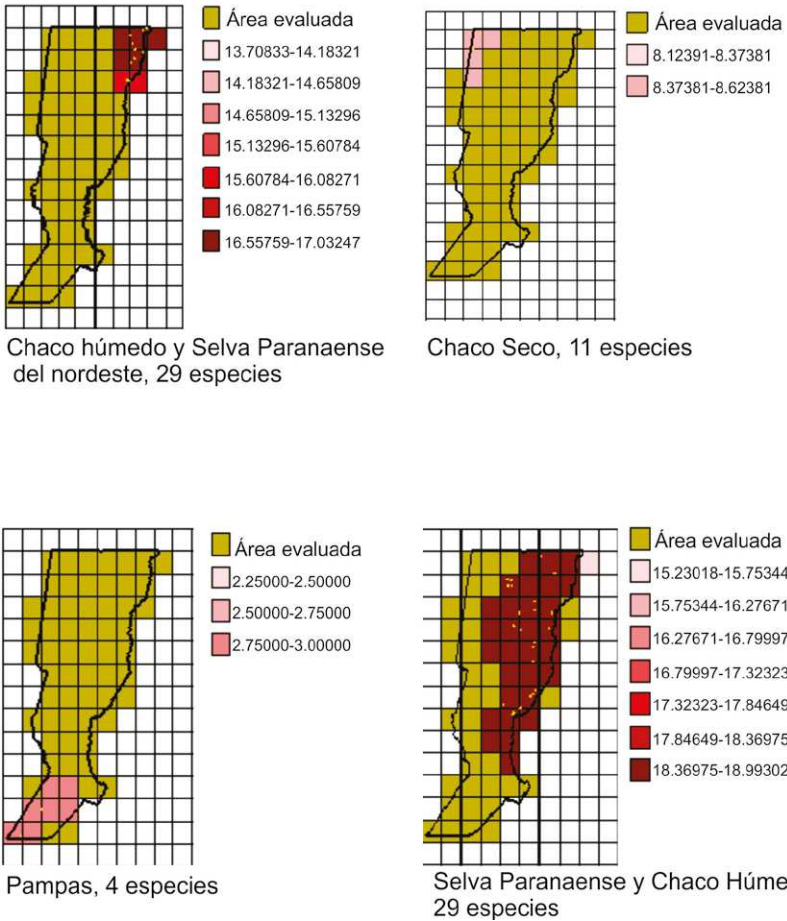


(Pampeana). El Chaco Seco no posee áreas protegidas estatales y la región Pampeana no posee reservas de protección estricta (categorías I a IV de IUCN) presentando ambas regiones la mayor deficiencia de áreas protegidas (AP). El sistema existente de AP de Santa Fe es insuficiente porque: 1) no representa adecuadamente varias AE por ejemplo las del Chaco Seco, Chaco Húmedo al norte y Pampas, 2) las reservas estrictas son pequeñas en superficie (menos de 3000 ha.), 3) presentan deficiencias en infraestructura de conservación (seccionales, guardaparques, cartelería) tanto las áreas de usos múltiples (tres Sitios Ramsar), como las reservas estrictas, 4) están sometidas a usos no permitidos (intrusión, urbanización, explotaciones ilegales).

En síntesis, las deficiencias detectadas en un escenario de elevados impactos generados por la pérdida de hábitats, el rápido avance de la frontera agrícola y la falta de criterios científicos para la selección y ubicación de las AP, sumado a deficiencias de implementación, hacen poco efectivo el sistema de AP para proteger a la biodiversidad provincial (Arzamendia y Giraudo, 2004, 2012, Giraudo y Arzamendia, 2014, Cristaldi *et al.*, 2019).

Este escenario se complejiza por el efecto del cambio climático sobre la distribución de las especies. Recientemente, Cristaldi *et al.* (2019) analizaron mediante modelos de nicho ecológico, cuáles son los cambios potenciales en la adecuabilidad climática en diversos escenarios climáticos futuros de las aves globalmente amenazadas de Santa Fe, encontrando que varias especies como el capuchino castaño (*Sporophila hypochroma*), y los espartilleros pampeano y enano (*Asthenes hudsoni* y *Spartonoica maluroides*), podrían perder hasta más de la mitad de su distribución en la provincia. No obstante, usando un índice de influencia humana, se observó que las actividades humanas condicionan aún más que el cambio climático, las áreas prioritarias necesarias para conservar las aves amenazadas.

Por ello, resulta urgente gestionar un sistema representativo y eficiente de áreas protegidas, que cuente con: 1) superficie, inversión e infraestructura adecuada, 2) tenga en cuenta estudios científicos (determinación AE, patrones de riqueza, etc) proporcionados a los organismos de gestión gubernamental y no gubernamental, así como a la sociedad santafesina y 3) y que las áreas protegidas sean incluidas en agendas socio-políticas y en las planificaciones sobre el uso del territorio provincial.



**Figura 7.** Áreas de endemismos identificadas en Santa Fe (grilla de 0,5°) prioritarias para la conservación de reptiles, aves y mamíferos raros y amenazados (en colores rosados a rojizos).

## Resumen

- En Santa Fe habita una diversa fauna de reptiles (82 especies), de aves (440 especies) y de mamíferos (89), aunque debido a la destrucción de sus hábitats y persecución son de los grupos con mayor cantidad de especies extinguidas y amenazadas, requiriendo acciones de conservación urgentes.

- Evaluando si las áreas protegidas coinciden con las áreas prioritarias para conservar reptiles, aves y mamíferos amenazados y raros, evidenciamos deficiencias en su protección con escasa o nula representatividad de reservas en el Chaco Seco, Pampas y sector norte del Chaco Húmedo–Selva Paranaense.
- Esta tendencia de desaparición de especies se agravará sinérgicamente con el cambio climático y el aumento de actividades humanas (expansión de fronteras agropecuarias y urbanas).
- Es urgente gestionar un sistema representativo y eficiente de áreas protegidas basado en la distribución de la biodiversidad, con superficie, inversión e infraestructura adecuada. Es necesario ubicar a las áreas protegidas como prioridades socio–políticas y en las planificaciones sobre el uso del territorio provincial, para evitar la pérdida de biodiversidad y sus valores y funciones esenciales para la naturaleza y sociedad.

### **Gestión de áreas naturales en el centro norte de la provincia de Santa Fe**

En el ámbito de la creación y gestión de áreas naturales en el centro norte de la provincia de Santa Fe, los sitios Ramsar constituyen una de las experiencias más exitosas, en la que han participado docentes y estudiantes de la FHUC. En el Comité Intersectorial de Manejo del Sitio Ramsar Jaaukanigas han participado equipos técnicos que recientemente colaboraron con la publicación de varios subplanes de manejo del sitio. Otro sitio Ramsar creado en la provincia es el «Delta del Paraná» que posee desde el año 2019 su plan de manejo (Giacosa, 2019) en el cual, a través de una gestión participativa, la facultad y la universidad han realizado aportes significativos. En este caso se trata de la gestión de un sistema hídrico que incluye en su estructura a dos parques nacionales: Islas de Santa Fe y Pre–delta.

Además, y a instancias del Laboratorio de Zoología aplicada de FHUC (anejos vertebrados), se creó en 2008 por ley, la reserva natural manejada «El Fisco» que tiene como objeto de conservación la población de *Caiman latirostris* (yacaré overo) en el departamento San Cristóbal. Las acciones próximas son la puesta en marcha del plan de manejo, que ya ha tenido una primera instancia participativa en junio de 2019.

## Programas de uso sostenible de fauna

El uso sostenible de fauna y flora de interés comercial es hoy uno de los enfoques más realistas para la conservación de los ecosistemas naturales. La «Estrategia mundial para la conservación» (UICN, 1980) recomendaba en su punto 3° y como un aspecto prioritario «...asegurar el carácter sostenible de cualquier tipo de uso de especies o ecosistemas». En el documento «Cuidar la Tierra» (UICN, 1991) se redefine la expresión «uso sostenible», especificando que se refiere exclusivamente a la «utilización de recursos naturales renovables, cuando su nivel de extracción no supera su capacidad de renovación». Los indiscutibles beneficios de dicha filosofía pasan por la «valorización de los ecosistemas en términos económicos», el «estímulo para la conservación por parte de las comunidades locales» y la «generación de divisas genuinas para los países productores». Esta tendencia está en aumento, como se ha podido ver en recientes discusiones internacionales sobre el tema.

La FHUC, a través su Laboratorio externo de Zoología aplicada (Anexo vertebrados) es pionera en el desarrollo de estas técnicas donde se interviene mínimamente en la naturaleza, obteniendo beneficios para los pobladores locales (Larriera e Imhof, 2006). En 1990 se inició en Santa Fe un programa de monitoreo y autorreplamamiento de yacaré overo –Proyecto Yacaré–, debido a la gran reducción numérica detectada en las poblaciones de esa especie. Este proyecto tuvo como objetivo la utilización sostenible del recurso y la conservación de los humedales santafesinos, empleando el sistema de *ranching*. Este método consiste en cosechar huevos en la naturaleza, incubarlos artificialmente y luego de nacidos los pichones, liberarlos, a los nueve meses de vida, en los mismos sitios de donde fueron cosechados los huevos. Durante más de 25 años se ha trabajado en instalaciones que permiten la incubación de más de 10 000 huevos y la crianza en condiciones controladas. Debido al incremento en el tamaño poblacional verificado, en 1997, las poblaciones argentinas de yacaré overo fueron transferidas al Apéndice II de CITES, el cual permite el comercio estrictamente regulado de sus productos (Larriera *et al.*, 2008).

Estos programas involucran y benefician a los pobladores locales, y son a su vez, generadores de variada información científica sobre la biología, dinámica poblacional e historia natural de las especies en cuestión. Por otra parte, la identificación de especies «clave» para determinados ecosistemas, permite desarrollar programas de conservación indirecta, sobre las otras especies asociadas en el mismo hábitat (UICN, 1991). La combinación de estas técnicas con la creación de áreas naturales como es el caso de la reserva El Fisco, ya citada se constituyen en una valiosa herramienta que combina el aprovechamiento de los recursos naturales con la conservación efectiva de humedales.

## Diversidad genética de especies faunísticas

Patricia S. Amavet<sup>13</sup> y Eva C. Rueda<sup>14</sup>

La genética de la conservación es una disciplina que estudia la diversidad y estructura genética de las poblaciones, y aporta datos para resolver problemáticas de conservación de la biodiversidad. Esta disciplina utiliza herramientas de biología molecular e interpreta sus resultados teniendo en cuenta las características ecológicas de las poblaciones, de manera tal que puede utilizarse para describir dichas poblaciones y las comunidades que ellas integran, conocer su historia evolutiva, así como identificar especies para resolver conflictos taxonómicos. Los resultados obtenidos son herramientas fundamentales para el desarrollo de planes de restauración de ecosistemas, así como para la definición de unidades de manejo y conservación.

Las investigaciones realizadas en el Laboratorio de Genética (FHUC–UNL) permiten diagnosticar la situación actual de algunas especies emblemáticas de los ecosistemas, además de conocer su historia evolutiva. Empleando marcadores moleculares y metodologías novedosas de secuenciación de nueva generación, se desarrollan estudios en especies de peces, anfibios, reptiles, mamíferos, así como invertebrados y algas, obteniendo datos acerca de su diversidad, estructura genética, o datos evolutivos como el impacto de la deriva genética y de la selección natural o artificial que impactan en estas poblaciones. A partir de la información obtenida por este grupo de trabajo se han brindado recomendaciones para el diseño de estrategias de manejo de ejemplares y poblaciones a organizaciones que desarrollan planes de conservación, así como normativas de legislación que incluyen a estas especies. Dichos estudios están vinculados desde sus inicios (en el año 1995) con problemáticas de la conservación de la biodiversidad. Paralelamente a las actividades de manejo desarrolladas por el «Proyecto Yacaré», se iniciaron estudios citogenéticos del yacaré overo, escasamente estudiado hasta ese momento, en comparación con la otra especie que habita nuestro país, el yacaré negro (*Caiman yacare*), los cuales revelaron grandes similitudes entre los complementos de cromosomas de ambas especies (Amavet *et al.* 2003). Posteriormente se emplearon marcadores moleculares para desarrollar análisis genético–poblacionales y evolutivos en el yacaré overo (*C. latirostris*). De este modo se han obtenido los paráme-

---

13 Laboratorio de Genética, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

14 Laboratorio de Genética, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL (CONICET–UNL).

tros básicos de diversidad genética y fenotípica de sus poblaciones santafesinas donde se detectaron valores bajos a moderados de variabilidad (Amavet *et al.*, 2007; 2009; Imhoff *et al.*, 2015) y se realizaron estudios acerca del sistema de apareamiento de esta especie determinando la existencia de más de un padre (multipaternidad) en un alto porcentaje de sus nidadas, comportamiento que resultaría beneficioso para incrementar la variabilidad poblacional (Amavet *et al.*, 2008; 2012). Además, se evaluó el impacto concreto de las actividades de manejo realizadas en Santa Fe por el Proyecto Yacaré a lo largo de los años. Los resultados demostraron que, gracias a las actividades realizadas en el marco del Proyecto además de haberse logrado la recuperación numérica de las poblaciones, también se incrementó su diversidad genética (Amavet *et al.*, 2017).

Otro ejemplo de estudios genéticos vinculados con la conservación son los que se desarrollaron en poblaciones de iguana overa (*Salvator merianae*) describiendo las características genéticas y fenotípicas básicas de esta especie en Santa Fe (Imhoff *et al.*, 2015; 2018). Los resultados demostraron la existencia de dos morfotipos relacionados con los hábitats que ocupan los ejemplares de iguana overa: los de mayor tamaño se identificaron en ambientes perturbados (con actividades antrópicas) mientras que los de menor tamaño correspondieron a ejemplares habitantes de áreas menos perturbadas por el hombre. A la vez, estudios evolutivos indicaron la existencia de individuos híbridos de esta especie con otra, críptica ancestral, aún no descripta (Imhoff *et al.*, en consideración). Todos estos datos aportaron al desarrollo óptimo de las actividades del Proyecto Iguana, proyecto tendiente a la conservación de esta especie, desarrollado en la ciudad de Santa Fe.

Un estudio conjunto con los Ministerios de Medio Ambiente y de la Producción de la provincia de Santa Fe permitió la liberación de ejemplares de tortugas de tierra (*Chelonoidis chilensis*) en sus poblaciones de origen. Los ejemplares estudiados eran mantenidos como mascotas y fueron entregados por sus propietarios, a partir de una campaña de concientización, al centro de rescate, rehabilitación y reubicación de fauna, Granja «La Esmeralda» de la ciudad de Santa Fe. El objetivo del estudio fue investigar cuáles eran sus poblaciones de origen teniendo en cuenta la secuencia que poseía cada individuo para un gen particular. Esa información se comparó con las secuencias descriptas en el área de distribución geográfica para esa especie en Argentina (Sanchez, 2012). De este modo, los individuos evaluados como aptos para liberación, en función de su estado de salud, fueron devueltos a la naturaleza en sus poblaciones de origen, incluidas en su mayoría en la región de Santiago del Estero (Amavet *et al.*, 2017).

Conocer la diversidad genética también contribuye al desarrollo de la pesca sostenible: en el caso de las especies de peces migradores, la información disponible sobre la dinámica migratoria de estas especies, no es concluyente para completar el entendimiento de su comportamiento y el monitoreo genético se transforma en una herramienta valiosa para responder algunos interrogantes. Por un lado, existen evidencias de que la interrupción de los circuitos migratorios por la construcción de represas afecta severamente a estas especies al impedir el acceso al área de desove (Revaldaves *et al.*, 2005) y como consecuencia, se observa una reducción del tamaño y estructuración de las poblaciones, reduciendo la variabilidad genética y con ello el potencial de responder a cambios ambientales. Por otro lado, las nuevas metodologías genéticas permiten realizar hallazgos taxonómicos, como, por ejemplo, la existencia de linajes genéticos (Rosso *et al.*, 2017) o especies diferentes (Coronel *et al.*, 2019, en preparación) y contribuir a la diferenciación de especies que se exportan. La falta de rigurosidad en la identificación de las especies exportadas podría enmascarar cambios a nivel de la comunidad sujeta a la pesca, lo que puede implicar un compromiso para la conservación de la ictiofauna (Iwazkiw *et al.*, 2011).

En nuestro país los estudios sobre genética de la conservación de peces continentales se iniciaron en el Laboratorio antes mencionado, desde el año 2009. Se comenzó obteniendo marcadores moleculares (microsatélites) para realizar estudios poblacionales para sábalo y dorado (Rueda *et al.*, 2011a, Rueda *et al.*, 2011b). El resultado más relevante y original fue el obtenido para sábalo (*Prochilodus lineatus*), demostrando la existencia de estructuración genética temporal, e identificando al menos dos stocks genéticos distinguibles en diferentes estaciones (Rueda *et al.*, 2013). En el año 2017, se demostró que el dorado (*S. brasiliensis*) presentaba dos linajes genéticos bien diferenciados, uno de ellos más representativo de la región norte de la Cuenca del Plata (Paraná Superior) y otro de la región sur (desde el Alto Paraná hacia el sur). El mismo resultado se obtuvo para boga (*Megaleporinus sp.*) donde, además, se identificó otra especie para la región sur. La legislación vigente cita tallas mínimas y regulaciones de pesca para *Leporinus obtusidens*, aunque los resultados obtenidos sugieren que la mayor abundancia del género en el Paraná inferior es *Megaleporinus piavussu*, una especie muy parecida morfológicamente (Ramirez *et al.*, 2017). Estos resultados muestran la importancia de tener claridad y herramientas adecuadas para la identificación taxonómica. Actualmente se encontraron evidencias de estructuración genética en el surubí (*Pseudoplatystoma corruscans*): durante los meses en que ocurren migraciones reproductivas coexisten al menos dos *stocks* genéticos, sugiriendo que hay individuos que se comportan como poblaciones «residentes». De esta manera, el sitio de confluencia de los ríos Paraná y Paraguay podría ser un sitio de elección para

la cría y alimentación, así como para el tránsito hacia las cabeceras de los ríos Paraguay y alto Paraná respectivamente, mostrando la importancia de conservar esas áreas durante la época reproductiva.

Los resultados obtenidos muestran claramente algunos vacíos que existen en el conocimiento de comportamientos migratorios–reproductivos de peces sujetos a pesca comercial y de qué manera, la genética de la conservación aporta nuevas evidencias para reflexionar sobre la legislación vigente en cuanto a especies, tallas y vedas, así como los sitios a proteger y regular.

En síntesis:

- La genética de la conservación permite planificar, implementar adecuadamente y evaluar acciones para la conservación de especies.
- Los estudios genéticos aportan datos sobre la ecología, etología e historia evolutiva de las especies.
- Las metodologías moleculares son herramientas poderosas para obtener datos genéticos de cualquier organismo que se desee estudiar.

## **Recomendaciones**

En función de lo expuesto y considerando que la UNL cuenta con abundante información ambiental lograda a través de décadas de investigación en la región, se proponen las siguientes recomendaciones sobre las principales problemáticas socio–ambientales planteadas, a fin de contribuir a la conservación del patrimonio natural y al bienestar de las sociedades implicadas, mediante la implementación de políticas orientadas al desarrollo sostenido de la provincia de Santa Fe.

Entre las acciones de mayor relevancia a implementar y/o sostener, proponemos:

- Promover la construcción e implementación de indicadores de desarrollo ambiental sostenido, a fin de avanzar con la protección y restauración de ecosistemas acuáticos y terrestres.
- Utilizar los mapas generados de áreas prioritarias para la conservación de la biodiversidad en Santa Fe, mediante criterios científicos, considerando los patrones de actividades humanas y los escenarios climáticos cambiantes en el futuro y fortalecer las acciones de creación de nuevas áreas, de corredores y la evaluación y manejo de las áreas protegidas existentes, mediante una mayor inversión de recursos humanos e infraestructura para su conservación. Propiciar y fortalecer la valorización e inclusión de un sistema de



áreas protegidas representativo y eficiente en agendas socio–políticas y en las planificaciones sobre el uso del territorio provincial.

- Proponer alternativas a los modelos productivos actuales, por otros que consideren la conservación de la fauna silvestre y que se orienten hacia prácticas agrícolas que busquen recuperar el equilibrio ecológico, considerando matrices productivas diversificadas estructural y funcionalmente, que permitan reducir el uso de insumos químicos.
- Incrementar el control de las actividades productivas en la provincia de Santa Fe, para asegurar el cumplimiento de la legislación vigente, promoviendo la elaboración de herramientas de ordenamiento territorial adecuadas para la conservación de los bosques nativos y la protección de las cuencas hidrográficas.
- Impulsar monitoreos de contaminantes y biomonitoreos en sistemas acuáticos, a los efectos de implementar acciones de control, manejo y gestión ambiental.
- Las especies zooplanctónicas nativas son más sensibles a metales pesados y plaguicidas que las exóticas. Sin embargo, son muy incipientes los estudios ecotoxicológicos de contaminantes emergentes tales como antibióticos y nanopartículas metálicas, por lo que se recomienda evaluar su ecotoxicidad sobre especies nativas.
- No existen niveles guía en agua, sedimentos y sólidos totales suspendidos, de algunos contaminantes de amplio uso en la provincia de Santa Fe (metales y plaguicidas que superaron los valores de referencia nacionales e internacionales de: cromo, cobre, plomo, cadmio, atrazina y endosulfan), y contaminantes emergentes, tales como farmacéuticos y nanopartículas, por lo que se aconseja realizar estudios ecotoxicológicos y proponer niveles guía de aplicación a nivel nacional.
- Impulsar investigaciones sobre los diferentes niveles de organización biológica en sistemas naturales, seminaturales, agrícolas y urbanos, considerando entre otras la situación de especies bajo explotación comercial, a fin de establecer proyecciones sobre la sostenibilidad de estos recursos nativos bajo distintos escenarios de explotación.
- Promover monitoreos de la biodiversidad íctica a nivel genético, poblacional y comunitario, que consideren las escalas temporales y espaciales de variabilidad ambiental.
- Los resultados obtenidos muestran claramente algunos vacíos que existen en el conocimiento de comportamientos migratorios–reproductivos de peces sujetos a pesca comercial y de qué manera la genética de la conservación aporta nuevas evidencias para reflexionar sobre la legislación vigente en cuanto a especies, tallas y vedas, así como los sitios a proteger y regular.

- Promover el desarrollo de estudios sobre tasas de crecimiento, alimentación, reproducción y migraciones que permitan prever los efectos de la explotación comercial sobre las poblaciones de peces
- Promover el turismo de naturaleza como una actividad potencialmente rentable y sostenible con la participación activa de la población local.
- Desarrollar programas educativos e informativos sobre la biodiversidad de Santa Fe, que promuevan el valor de su conservación y del manejo sostenido de los recursos naturales, utilizando dispositivos que permitan abordar la complejidad de estas problemáticas caracterizadas por sus múltiples dimensiones (ambiental, socioeconómica–cultural y política) contribuyendo así a la conservación actual y futura de los bienes naturales y los servicios ecosistémicos

Finalmente es importante enfatizar que en el proceso de formulación, implementación y gestión de programas y políticas públicas vinculados a estas y otras problemáticas socio–ambientales, es importante desarrollar acciones transdisciplinarias, que involucren la participación de diferentes actores sociales con distintos saberes en tramas de interacción, en las que los miembros de la comunidad académico–científica –como los equipos de UNL– deben participar, cumpliendo así con la misión y el compromiso social institucional.

## Referencias bibliográficas del capítulo 6

- Abrial, E.; Rabuffetti, A. P (...) Paira, A. R. (2014). Influence of hydrological changes on the fish community in two lotic environments of the MiddleParaná floodplain, Argentina. *Aquat. Ecol.*, 48(3), 337–349
- Amavet, P; Markariani, R. & Fenocchio, A. (2003). Comparative Cytogenetic Analysis of the South American Alligators *Caiman latirostris* and *Caiman yacare* (Reptilia, Alligatoridae) from Argentina. *Caryologia*, 56(4), 489–493. University of Florence. Florence, Italy.
- Amavet, P S; Rosso, E. L. (...) Larriera, A. (2007). Analysis of the population structure of Broad–Snouted Caiman (*Caiman latirostris*) in Santa Fe, Argentina, using the RAPD technique. *Journal of Herpetology, Society for the Study of Amphibians and Reptiles*. Salt Lake City, UT, USA, 41(2), 285–295.
- Amavet, P; Rosso, E. L. (...) Larriera, A. (2008). Estudios genético–poblacionales de *Caiman latirostris* (Reptilia, Alligatoridae) en Santa Fe, Argentina: una revisión a través del tiempo. Miscelanea INSUGEO 17–Temas de la Biodiversidad del Litoral Fluvial Argentino III (I). Coordinador: F.G. Acenolaza. INSUGEO, Tucuman, Argentina: 211–217. 258 p.
- Amavet, P; Vilardi, J.C.; Rosso, E.; Saidman, B. 2009. Genetic and morphometric variability in *Caiman latirostris* (broad–snouted caiman), Reptilia, Alligatoridae. *Journal of Experimental Zoology Part A, Ecology Genetics and Physiology*. Wiley Interscience. John Wiley and Sons Inc. Hoboken NJ, USA, 311A, 258–269.

- Amavet, P.; Vilardi, J. C. (...) Saidman, B. O. (2012). Mating system and population analysis of the broad-snouted caiman (*Caiman latirostris*) using microsatellite markers. *Amphibia-Reptilia*, 33: 83–93.
- Amavet, P.; Rueda, E. (...) Saidman, B. (2017). The *Caiman latirostris* population recovery in Argentina as a case of genetics conservation. *Amphibia-Reptilia*, 38(4), 411–424. doi: 10.1163/15685381-00003123
- Amavet, P.; Burella, P. & Siroski, P. (2017). De regreso a casa... Estrategias para la reintroducción de tortugas de tierra a la vida silvestre. En *IX Congreso Latinoamericano de Herpetología*. Quito, Ecuador. 24 al 28 de julio de 2017.
- Arzamendia, V. y Giraudo, A. R. (2004). Usando patrones de biodiversidad para la evaluación y diseño de áreas protegidas: las serpientes de la provincia de Santa Fe (Argentina) como ejemplo. *Revista Chilena de Historia Natural*, 77(2), 335–348.
- Arzamendia, V. & Giraudo, A. R. (2009). Influence of large South American rivers of the PlataBasin on distributional patterns of tropical snakes: a panbiogeographical analysis. *Journal of Biogeography*, 36(9), 1739–1749.
- Arzamendia, V. & Giraudo, A. R. (2012) A panbiogeographical model to prioritize areas for conservation along large rivers. *Diversity and Distributions*, 18, 168–179.
- Attademo, A. M.; Peltzer P. M. & Lajmanovich R. C. (2005). Amphibians occurring in soybean and implications for biological control in Argentina. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 106 (4), 389–394.
- Attademo, A. M.; Peltzer, P. M. (...) Fiorenza, G. (2007a). Plasma B-esterases and glutathione S-transferase activities in the toad *Chaunus schneideri* (Amphibia, Anura) inhabiting rice agroecosystems of Argentina. *Ecotoxicology*, 16, 533–539.
- Attademo, A. M.; Peltzer, P. M. & Lajmanovich, R. C. (2007b). Feeding habits of *Physalaemus biligonigerus* (Anura, Leptodactylidae) from soybean fields of Córdoba Province, Argentina. *Russ. J. Herp.*, 14, 1–6.
- Attademo, A. M.; Cejas, W. (...) Lajmanovich, R. C. (2007c). Phenology in diet of the *Chaunusarenarum* (Anura: Bufonidae) in soybean field of Córdoba province, Argentina. *Rev. Esp. Herp.*, 21, 41–48.
- Attademo, A. M.; Peltzer, P. M. (...) Basso, A. (2011a). Wildlife vertebrate mortality in roads from Santa Fe Province, Argentina. *Revista Mex. Biodiversidad*, 82, 915–925.
- Attademo, A. M.; Cabagna-Zenklusen, M. (...) Basso, A. (2011b). B-esterase activities and blood cell morphology in the frog *Leptodactylus chaquensis* (Amphibia: Leptodactylidae) on rice agroecosystems from Santa Fe Province (Argentina). *Ecotoxicology*, 20, 274–282.
- Attademo, A. M.; Peltzer, P. M. (...) Basso, A. (2014). Biological endpoints, enzyme activities, and blood cell parameters in two anuran tadpole species in rice agroecosystems of mid-eastern Argentina. *Environ. Monit. Assess*, 186, 635–649.
- Attademo, A. M.; Peltzer, P. M. (...) Grenon, P. (2015). Biochemical changes in certain enzymes of *Lysapsuylimellium* (Anura: Hylidae) exposed to chlorpyrifos. *Ecotoxicol. Environ. Saf.*, 113, 287–294.
- Attademo, A. M.; Lorenzon R. E. (...) Lajmanovich, R. C. (2018). Diversity of anurans in rice fields under organic and conventional management in Santa Fe province, Argentina. *Herpetological Review*, 49(4), 632–635.
- Avigliano, E.; Pouilly, M. (...) Volpedo, A. V. (2019). Geochemical tags (87Sr/86Sr) for tracking lifetime movements of freshwater migratory fishes: application in the La Plata Basin.

- Barbaran, F. R. (2004). Usos mágicos, medicinales y rituales de la fauna en la Puna del Noroeste Argentino y Sur de Bolivia. *Contribuciones al Manejo de Vida Silvestre en Latinoamérica*, 1(1), 1–26.
- Berlin, B. (1992). *Ethnobiological classification: principles of categorization of plants and animals in traditional societies*. Princeton University Press.
- Santos-Fita, Costa-Neto, D. E. M. & Schiavetti, A. (2011). Constitution of ethnozoological semantic domains: meaning and inclusiveness of the lexeme «insect» for the inhabitants of the county of PedraBranca, Bahia State, Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciencias*, 83(2), 589–598.
- Bonetto, A. A.; Canon, M. (...) Roldán, D. (1981). Nuevos aportes al conocimiento de las migraciones de peces en el río Paraná. *Ecosur, Corrientes, Argentina*, 8(16): 29–40.
- Brusa, R. G. (2012). *Interacciones hospedador-parásito y hábitos tróficos de una población de Hoplias malabaricus (Bloch, 1794) en humedales asociados al río San Javier, Reserva Provincial Cayastá, Santa Fe* (tesis inédita de grado). Licenciatura en Biodiversidad, FHUC, UNL. Santa Fe.
- Burkart, R.; Bárbaro, N. (...) Gómez, D. A. (1999). Eco-regiones de la Argentina. Programa de desarrollo institucional, componente de política ambiental. Administración de Parques Nacionales.
- Canadian Environmental Quality Guidelines (2003). Canadian council of ministers of the environment. Ottawa, Ontario.
- Chemes, S. B; Takemoto, R. M. (2005). Registro de *Contracecaecum* larva tipo 2 de Moravec, Kohn et Fernandes, 1993 (Nematoda, Anisakidae) en juveniles de *Salminus maxillosus* (Pisces, Salmininae) de ambientes lenticos de la cuenca del río Salado del Norte (Santa Fe, Argentina). *Parasitología Latinoamericana*, 60, 339–340.
- Chemes, S. B. & Takemoto, R. M. (2011). Diversity of parasites from Middle Paraná System freshwater fishes, Argentina. *International Journal of Biodiversity and Conservation*, 3(7), 249–266
- Chemes, S. B. (2012). *Diversidad de macroparásitos en especies ícticas de la Familia Pimeledidae, de la llanura aluvial del río Paraná Medio* (tesis inédita de doctorado). Ciencias Biológicas, UNL. Santa Fe.
- CITIDES (2017). Programa de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo Sustentable. Identificación de las problemáticas centrales de la Argentina para alcanzar un desarrollo sustentable. Sugerencias para superarlas desde el ámbito de incumbencia del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva.
- Conlon, J. M.; Mechkarska, M. (...) Flatt, P. R. (2014). Potential therapeutic applications of multifunctional host-defense peptides from frog skin as anti-cancer, anti-viral, immunomodulatory, and anti-diabetic agents. *Peptides*, 57, 67–77.
- Cordiviola de Yuan, E. (1992). Fish populations of lentic environments of the Paraná river. *Hydrobiología, Países Bajos*, 237, 159–173.
- Cristaldi, M. A.; Sarquis, A. (...) Giraudo, A. R. (2019). Human activity and climate change as determinants of spatial prioritization for the conservation of globally threatened birds in the southern Neotropic (Santa Fe, Argentina). *Biodiversity & Conservation*. doi: 10.1007/s10531-019-01774-z
- Dalmazzo, M. (2010). Diversidad y aspectos biológicos de abejas silvestres de un ambiente urbano y otro natural de la región central de Santa Fe, Argentina. *Rev. Soc. Entomol. Argent*, 69(1–2), 33–44.

- Dalmazzo, M. & Roig-Alsina, A. (2011) Revision of the species of the New World genus *Augochlora* (Hymenoptera, Halictidae) occurring in the southern temperate areas of its range. *Zootaxa*, 2750, 15–32.
- Dalmazzo, M. & Roig-Alsina, A. (2012) Nest structure and notes on the social behavior of *Augochlora amphitrity* (Schrottky) (Hymenoptera, Halictidae). *Journal of Hymenoptera Research*, 26, 17–29.
- Dalmazzo, M. & Roig-Alsina, A. (2015) Social biology of *Augochlora* (*Augochlora*) *phoemonoe* (Hymenoptera, Halictidae) reared in laboratory nests. *Insectes Sociaux*, 62., 315–323. doi: 10.1007/s00040-015-0412-8
- Dalmazzo, M. & Vossler, F. G. (2015a). Pollen host selection by a broadly polylectic halictid bee in relation to resource availability. *Arthropod-Plant Interactions*, 9:253–262. doi: 10.1007/s11829-015-9364-1
- Dalmazzo, M. & Vossler, F. G. (2015b). Assessment of the pollen diet in a wood-dwelling augochlorine bee (Halictidae) using different approaches *Apidologie*, 46, 478–488. doi: 10.1007/s13592-014-0337-7
- Dalmazzo, M. (2018). Biología de nidificación de la abeja eusocial primitiva *Augochlorophoemonoe* (Halictidae). *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales, n.s.*, 20(1), 1–10.
- Dalmazzo, M. & Roig-Alsina, A. (2018a). Dominant–subordinate social interactions and subordinate behavioral responses in the primitively eusocial sweat bee. *Augochlora phoemonoe* (Hymenoptera: Halictidae). *Apidologie*, 49, 852–861. doi: 10.1007/s13592-018-0609-8
- Dalmazzo, M. & Roig-Alsina, A. (2018b). Primitively eusocial behavior observed in colonies of *Augochlora amphitrity* (Hymenoptera: Halictidae) reared in laboratory. *Sociobiology*, 65(4), 773–776.
- Del Barco, D. M. (2008). Las pesquerías del Sitio Ramsar Jaaukanigas y de la provincia de Santa Fe. En Giraudó, A. R. (Ed.). Sitio Ramsar Jaaukanigas: Biodiversidad, Aspectos Socioculturales y Conservación (Río Paraná, Santa Fe, Argentina). *Climax* (14), 99–103. Asoc. Cien. Nat. Litoral, Comité Intersectorial de Manejo del Sitio Ramsar Jaaukanigas, Ramsar.
- Devercelli, M. (2006). Phytoplankton of the Middle Paraná River during an anomalous hydrological period: a morphological and functional approach, *Hydrobiologia*, 563, 465–478.
- Devercelli, M. (2010). Changes in phytoplankton morpho–functional groups induced by extreme hydroclimatic events in the middle Paraná River (Argentina). *Hydrobiologia*, 639, 5–19.
- Di Pascuale, V. (2017). Cambios temporales en el ensamble fito/zooplanctónico en la ribera de una laguna de la llanura aluvial del río Paraná (tesis de grado). Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.
- Duffy, J. E.; Cardinale, B. J. (...) Loreau, M. (2007). The functional role of biodiversity in ecosystems: incorporating trophic complexity. *Ecol. Lett.*, 10, 522–538.
- Eluk, D.; Nagel, O. (...) Gagneten, A. M. (2016) Ecotoxicidad crónica de seis antibióticos de uso veterinario sobre *Daphnia magna*. En VI Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental. Córdoba.
- Escalante, T.; Szumik, C. & Morrone, J. J. (2009). Areas of endemism of Mexican mammals: reanalysis applying the optimality criterion. *Biological Journal of the Linnean Society*, 98, 468–478.

- Espinach Ros, A.; Domanico, A. (...) Mantinian, J. (2012). Evaluación del recurso Sábalo (*Prochilodus lineatus*) en el río Paraná. Período 2008–2011. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Subsecretaría de Pesca y Acuicultura. Buenos Aires.
- Espinola, L. A.; Rabuffetti, A. P (...) Santos, L. N. (2016). Response of fish assemblage structure to changing flood and flow pulses in a large subtropical river. *Mar. Freshw. Res.*, 68(2), 319–330.
- Fahrig, L. (2003). Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.*, 34, 487–51.
- Fandino, B. y Giraudo, A. R. (2010). Análisis crítico sobre la composición de la avifauna en la provincia de Santa Fe, Argentina. *FABICIB*, 16, 22–34.
- Fandino, B. y Giraudo, A. R. (2012). Composición de la avifauna de Santa Fe, Argentina: evaluando críticamente las deficiencias wallaceanas y linneanas. *Ornitología Neotrópica*, 23, 467–488l.
- Fernández Osuna, M. A. & Scarabotti, P. A. (2016). Phenotypic plasticity associated with environmental hypoxia in the neotropical serrasalmid. *Piaractus mesopotamicus*. *Neotropical Ichthyology*, 14(2), e150187.
- Ferreira, H. (2011). Municiones de plomo y contaminación: un viejo problema mundialmente conocido pero localmente desatendido. *El hornero*, 26(1), 65–72.
- Frankham, R.; Ballou, J. D. & Briscoe, D. A. (2004). Introduction to Conservation Genetics. Cambridge University Press.
- Gagneten, A. M.; Gervasio, S. & Paggi, J. C. (2007). Heavy Metal Pollution and Eutrophication in the Lower Salado River Basin (Argentina). *Water, Air and Soil Pollution*. 178, 335–349.
- Gagneten, A. M. & Paggi, J. C. (2009). Effects of heavy metal contamination (Cr, Cu, Pb, Cd) and eutrophication on zooplankton in the lower basin of the Salado River (Argentina). *Water, Air and Soil Pollution*, 198, 317–334. The Netherlands. I.F:1.765
- Gagneten, A. M. & Vila, I. (2001). Effects of Cu+2 and pH on the fitness of *Ceriodaphnia dubia* (Richard 1894) (Crustacea, Cladocera) in microcosm experiments. *Environmental Toxicology*, 16(5), 428–438.
- Gagneten, A. M.; Maitre, M. I. (...) Enrique, S. (2014) Efectos del herbicida Ron-doR sobre *Cerodaphniareticulate* (Crustacea, Cladocera) y degradabilidad del glifosato (N–fosfometilglicina) en condiciones experimentales. *Natura Neotropicalis*, 45(1 y 2), 71–85.
- Gagneten, A. M. & Marchese, M. (2003) Effects of Paraquat on zooplankton and zoobenthic assemblages in enclosure experiments». *Ecohydrology and Hydrobiologie*, 3(4), 255–264. PL ISSN 1642–3593.
- Gallardo, J. M. (1994). Anfibios y reptiles. Relatos y leyendas, etimologías, usos y abusos. Librería Agropecuaria.
- García de Emiliani, M. O. (1974). Floración acuática de algas verdes–azules en el «Lago del Parque Belgrano» (Santa Fe). *Temas de Salud*, 1(2), 29–49.
- García de Emiliani, M. O. & Devercelli, M. (2003). Influencia del fenómeno «El Niño» sobre el transporte y la estructura del fitoplancton en el cauce principal del río Paraná Medio, Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica*, 38, 29–38.
- García de Emiliani, M. O. & Devercelli, M. (2004). Estructura y dinámica del fitoplancton de un río tributario (Salado) y cauces secundarios del río Paraná (Santa Fe, Coronda y El Vado) en el área de confluencia (Santa Fe, Argentina). *FABICIB*, 8, 23–42.

- Garibaldi, L. A.; Steffan-Dewenter, I. (...) Bartomeus, I. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*, 339(6127), 1608–1611.
- Gervasoni, S. H.; Chemes, S. B. (...) Cerutti, R. D. (2018). First record of *Lernaea cyprinacea* (Crustacea: Lernaeidae), ectoparasite of *Rhamdia quelen* (Pisces: Heptapteridae) in Esperanza (Santa Fe, Argentina), under hatchery conditions. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 31(3), 229–234.
- Ghirardi, R. y López, J. A. (Coords.) (2017). *Anfibios de Santa Fe*. Ediciones UNL. Giraudo, A. R. (2009). Defaunación como consecuencia de las actividades humanas en la llanura del Chaco argentino. En Morello, J. H. y Rodríguez, A. F. *El Chaco sin bosques: la Pampa o el desierto del futuro* (pp. 314–345). UNESCO, MAB, GEPAMA, FADU. Orientación Gráfica.
- Giraudo, A. R. y Arzamendia, V. (2004). ¿Son las planicies fluviales de la Cuenca del Plata, corredores de biodiversidad? Los vertebrados amniotas como ejemplo. En Neiff, J. J. (Ed.). *Humedales de Iberoamerica* (pp. 157–170). Editado por el CYTED, Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo, Cuba.
- Giraudo, A. R. & Arzamendia, V. (2018) Descriptive bioregionalization and conservation biogeography: What is the true bioregional representativeness of protected areas? *Australian Systematic Botany*, 30(6), 403–413.
- Giraudo, A. R.; Bortoluzzi, A. y Arzamendia, V. (2006). Fauna de vertebrados tetrapodos de la reserva y Sitio Ramsar Esteros del Iberá: análisis de su composición y nuevos registros para especies amenazadas. *Natura Neotropicalis*, 37(1–2), 1–20.
- Giraudo, A. R. y Moggia, L. (2006). Entre el agua y la tierra: anfibios, reptiles, aves y mamíferos de Jaaukanigas. En Giraudo A. R. (Ed.). *Sitio Ramsar Jaaukanigas: Biodiversidad, Aspectos Socioculturales y Conservación* (Río Paraná, Santa Fe, Argentina) (pp. 57–68). Asociación de Ciencias Naturales del Litoral, Humedales para el Futuro, Ramsar, Santa Fe, Argentina.
- Gutierrez Usillos, A. (2002). Dioses, símbolos y alimentación en los Andes: interrelación hombre–fauna en el Ecuador prehispánico. Quito: Editorial AbyaYala.
- Hatcher, M. J.; Dick, J. T. A. & Dunn, A. M. (2012). Disease emergence and invasions. *Functional Ecology*, 26, 1275–1287.
- Hudson, P. J.; Dobson, A. P. & Lafferty, K. D. (2006). Is a healthy ecosystem one that is rich in parasites? *Trends in Ecology and Evolution*, 21, 381–385.
- Imhoff, C.; Giri, F. (...) Amavet, P. (2015). Phenotypic variability and heritability studies in the cephalic region of *Caiman latirostris* (Crocodylia: Alligatoridae) using geometric morphometrics. *Journal of Morphology*, 277: 370–378. doi: 10.1002/jmor.20503
- Imhoff, C.; Rueda, E. (...) Amavet, P. (2017). Análisis de variabilidad genética y estructura poblacional en lagarto overo (*Salvatormerianae*). En *XVIII Congreso Argentino de Herpetología*. Salta, Argentina, 2 al 6 de octubre de 2017.
- Imhoff, C.; Giri, F. (...) Amavet, P. (2018). Analysis of morphological variability and heritability in the head of the Argentine Black and White Tegu (*Salvatormerianae*): undisturbed vs. disturbed environments. *Zoology*, 127, 47–62.
- Imhoff, C.; Pacheco–Sierra, G. (...) Amavet, P. (s. f.). An ancestral cryptic *Salvator* species and recent hybridization in its southernmost distribution. Manuscrito en evaluación. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*. Intergovernmental Panel on Climate Change (2014). Drivers, Trends and Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. [https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_chapter5.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_chapter5.pdf)

- Iwaszkiw, J. & Firpo Lacoste, F. (2011). La pesca artesanal en la Cuenca del Plata (Argentina) y sus implicancias en la conservación de la biodiversidad. *Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales. Nueva serie*, 13(1), 21–25.
- Jose de Paggi, S. B. (1980). Campaña limnológica Keratella I en el río Paraná Medio: zooplancton de ambientes lóticos. *Ecología*, 4, 69–75.
- Jose de Paggi, S. B. (1984). Estudios limnológicos en una sección transversal del tramo medio del río Paraná: distribución estacional del zooplancton. *Rev. Asoc. Cienc. Nat. Litoral*, 15, 135–155.
- Jose de Paggi, S. B. (1990). Ecological and biogeographical remarks on the rotifer fauna of Argentina. *Rev. Hydrobiol Trop*, 23(4), 297–311.
- Jose de Paggi, S. B. (1993). Composition and seasonality of planktonic rotifers in limnetic and littoral regions of a floodplain lake (Paraná river system). *Rev. Hydrobiol Trop*, 26, 53–63.
- Jose de Paggi, S. B. (2004a). Diversidad de Rotíferos Monogononta en el Bajo Paraná (tesis inédita de doctorado). Universidad Nacional de La Plata.
- Jose de Paggi, S. B. (2004b). Diversidad de Rotíferos Monogononta del Litoral Fluvial Argentino. *INSUGEO*, 12, 185–194.
- Jose de Paggi, S. & Paggi, J. C. (2007). Zooplankton. En *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*.
- Kefi, S.; Berlow, E. L. (...) Brose, U. (2012). More than a meal... integrating non-feeding interactions into food webs. *Ecology Letters*, 15(4), 291–300.
- Kergaravat, S. V.; Hernández, S.; Gagneten A. M. (2018a). Evaluación crónica de quinolonas mediante ensayos ecotoxicológicos y químicos. En *VII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental* (SETAC ARG).
- Kergaravat, S. V.; Hernández, S. R. & Gagneten A. M. (2021a). Second-, third- and fourth-generation quinolones: Ecotoxicity effects on *Daphnia* and *Ceriodaphnia* species. *Chemosphere*, 262(2021), 127823. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127823>
- Kergaravat, S. V., Romero, N. (...) Gagneten A. M. (2021b). Simultaneous electrochemical detection of ciprofloxacin and silver nanoparticle dissolution: application to ecotoxicological acute studies. *Microchemical Journal*, 162: 105832.
- Kieffer, L. A & García De Emiliani, M. O. (1998). Eutrofización del Lago del Parque General Belgrano (Santa Fe). II Plancton y parámetros Químicos. En *Anales del XVII Congreso nacional del Agua. II Simposio de Recursos Hídricos del Conosur*. Santa Fe, Argentina.
- Kreft, H. y Jetz, W. (2010). A framework for delineating biogeographical regions based on species distributions. *Journal of Biogeography*, 37, 2029–2053.
- Larriera, A. & Imhof, A. (2006). Proyecto Yacaré. Cosecha de huevos para cría en granjas del género *Caiman* en la Argentina. En Ramadori, D. & Bolkovic, M. L. (2006). *Manejo de fauna silvestre en la Argentina: programas de uso sustentable*. Dirección de Fauna Silvestre, Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. Buenos Aires.
- Larriera, A.; Imhof, A. y Siroski, P. (2008). Estado actual de los programas de conservación y manejo del género *Caiman* en Argentina. En Castroviejo, J.; Ayarzagüena, J. y Velasco, A. (Eds.). *Contribución al conocimiento del Género Caiman de Suramérica* (pp. 143–179). Madrid, Publicaciones Asociación Amigos de Dona Ana.
- Liotta, J. (2019). Base de datos de peces de aguas continentales de la República Argentina. Museo de Ciencias Naturales «P. Antonio Scasso». <https://www.pecesargentina.com.ar>
- Lopez, H. L.; Menni, R. C. (...) Cuello, M. V. (2006). Bibliografía de los peces continentales de la Argentina. ProBiota, FCNyM, UNLP *Serie Técnica-Didáctica*, La Plata, Argentina, 9, 1–165.



- Lorenzon, R. E.; Leon, E. J. (...) Attademo, A. M. (2020). Can agroecological management increase functional diversity of birds in rice fields? *Revista de Biología Tropical*, 68(3), 873–883.
- Lozano, I. E.; Llamazares Vegh, S. (...) Fuentes, C. M. (2019). Episodic recruitment of young *Prochilodus lineatus* (Valenciennes, 1836) (Characiformes: Prochilodontidae) during high discharge in a floodplain lake of the River Paraná, Argentina. *Fisheries Management and Ecology*, 26(3), 260–268.
- Lucifora, L. O.; Barbini, S. A. (...) Diaz de Astarloa, J. (2015). Geographic distribution of the short-tailed river stingray, *Potamotrygon brachyura*: assessing habitat loss and fishing as threats to the world's largest obligate freshwater elasmobranch. *Marine and Freshwater Research*.
- Lucifora, L. O.; Balboni, L. (...) Diaz de Astarloa, J. M. (2017). Decline or stability of obligate freshwater elasmobranchs following high fishing pressure. *Biological Conservation*, 210, 293–298.
- Marchese, M.; Gagneten, A. M. (...) Poi, A. S. G. (2018). Aplicación de Indicadores Biológicos en el Nordeste Argentino. En Domínguez, A. y Giorgi, A. (Eds.). *Indicadores biológicos, calidad biológica de agua, aplicaciones y perspectivas de uso* (en prensa).
- Medrano M. C. y Ceballos, L. (2017). Etnoherpetología: los anfibios y el hombre (cap. 6). En Ghirardi, R. y López, J. A. (Coords.). *Anfibios de Santa Fe* (pp. 83–96). Ediciones UNL.
- Millennium Ecosystem Assessment (MA) (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis* «Archived copy». Archived (PDF) from the original on 3 December 2013. Island Press, Washington.
- Naeem, S. (2002). Ecosystem consequences of biodiversity loss: the evolution of a paradigm. *Ecology*, 83, 1537–1552.
- Organización de las Naciones Unidas (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. «Nuestro futuro común». <http://www.un.org/es/ga/president/65/issues/sustdev.shtml>
- Organización de las Naciones Unidas (2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-desarrollo-sostenible/>
- Paggi, J. C. (1980). Campaña limnológica Keratella I en el río Paraná medio (Argentina). Zooplancton de ambientes leníticos. *Ecología*, 4, 77–88.
- Paggi J. C. (2004). Importancia de la fauna de «Cladoceros» (Crustacea, Brachiopoda) del Litoral Fluvial Argentino. *INSUGEO*, 12, 5–12.
- Pave, R.; Cristaldi, M. A. (...) Giraudo, A. R. (2017). Nuevos registros de murciélagos para la provincia de Santa Fe, Argentina. *Mastozoología Neotropical*, 24(1), 153–162.
- Pautasso, A.; Fandino, B. y Leiva, L. (2017). Ecorregiones (cap. 1). En Ghirardi, R. y López, J. A. (Coords.). *Anfibios de Santa Fe* (pp. 23–34). Ediciones UNL.
- Pensiero, J. F.; Gutiérrez, H. F. & Lewis, J. P. (2005). Flora vascular de la provincia de Santa Fe. Claves para el reconocimiento de las familias y géneros. *Catálogo sistemático de las especies*.
- Prado, W. S.; Waller, T. (...) Richard, E. (2012). *Chelonoidis chilensis* (Gray, 1870). Tortuga terrestre común. En Vaira, M. (Ed.). *Categorización del Estado de Conservación de la Herpetofauna de la República Argentina. Ficha de los Taxones. Tortugas*. *Cuadernos de Herpetología*, 26 (Supl. I), 391.

- Peltzer, P. M.; Attademo, A. M. (...) Sánchez L. C. (2010). Trophic dynamics of three sympatric anuran species in soybean agroecosystem from Santa Fe Province, Argentina. *Herpetological Journal*, 20, 261–269.
- Peltzer, P. M.; Lajmanovich, R. C. (...) Beltzer, A. H. (2006). Diversity of anurans across agricultural ponds in Argentina. *Biodiversity and Conservation*, 15, 3499–3519.
- Polla, W.; Salusso, M. & Fernández, V. (2008). Estructura del fitoplanctón en diferentes fases hidrológicas en un sistema fluvial (Río Salado del Norte, Santa Fe). *FABICIB*, 12, 11–24.
- Polla, W.; Salusso, M. & Fernández, V. (2010). Estructura del fitoplanctón en diferentes fases hidrológicas en un sistema fluvial (Río Salado del Norte, Santa Fe). *Ciencia*, 5, 19, 45–59.
- Polla, W.; Romero, N. (...) Gagneten, A. M. (s. f.). Estudio de comunidades planctónicas y calidad del agua del río Salado (Santa Fe, Argentina) en el área de descarga de lixiviados de Residuos Sólidos Urbanos (RSU). En *VII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental* (SETAC ARG, capítulo Argentina).
- Quiros, R. & Vidal, J. C. (2000). The cyclic behavior of potamodromous fishes in large rivers (Chapter 6). En Cowx, I. G. (Ed.). *Management and Ecology of River Fisheries*. Blackwell Science, New Fishing Books, Blackwell Ed.
- Quiros, R.; Boveri, M. (...) Von Bernard, H. (2006). Los efectos de la agriculturización del humedal pampeano sobre la eutrofización de sus lagunas. Eutrofización en América del Sur. Causas, consecuencias e tecnologías de gerenciamiento e controle.
- Rabuffetti A. P.; Gorski, K. (...) Paira, A. R. (2017). Long-term hydrologic variability in a large subtropical floodplain river: effects on commercial fisheries. *River Research and Applications*, 33(3), 353–363.
- Ramella, M.S.; Kroth, M.A. (...) Arisi, A. C. M. (2006). Genetic variability in four fish species (*Pimelodus maculatus*, *Prochilodus lineatus*, *Salminus brasiliensis* and *Steindachneridion scripta*) from Uruguay River Basin. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49(4), 589–598.
- Ramirez, J. L.; Birindelli, J. L. & Galetti Jr, P. M. (2017). A new genus of *Anostomidae* (Ostariophysi: Characiformes): diversity, phylogeny and biogeography based on cytogenetic, molecular and morphological data. *Molecular phylogenetics and evolution*, 107, 308–323.
- Regaldo, L.; Gagneten, A. M. & Troiani, H. (2014). Comparative study of the effects of Cu, Cr, Pb on *Daphnia magna* and two cladocerans representatives of the Argentinean Fluvial Littoral (AFL). *Journal of Environmental Biology*, 35(4), 689–697.
- Regaldo, L.; Gagneten, A. M. y Troiani, H. (2016). Efecto de metales pesados y plaguicidas sobre organismos planctónicos de diferente nivel trófico y eficiencia de acumulación por microalgas. *FABICIB*. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas. Universidad Nacional del Litoral.
- Regaldo, L.; Gutierrez, M. F. (...) Gagneten A. M. (2017). Water and sediment quality assessment in the Colastine–Corralito stream system (Santa Fe, Argentina): impact of industry and agriculture on aquatic ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(7), 6951–6968. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0911-4>
- Regaldo, L.; Reno, U. (...) Gagneten, A. M. (2020a). Multifunctional approach to evaluate the efficiency of landfill leachate treatments. In: Shah, M. P (Ed.). *Removal of Toxic Pollutants through Microbiological & Tertiary Treatment, New Perspective*. Elsevier.

- Regaldo, L.; Marquez, V. (...) Gagneten, A. M. (2020b). Prokaryotic and eukaryotic diversity in wastewater treatment: Phenotypic characterization, molecular techniques and bioprospecting. In Shah, M. P.; Sarkar, A. & Mandal, S. (Eds.). *Wastewater treatment—cutting edge molecular tools, techniques and applied aspects*. Elsevier.
- Regaldo, L.; Reno, U. (...) Gagneten, A. M. (2020c). Multifunctional approach to evaluate the efficiency of landfill leachate treatments. In Shah, M. P. (Ed.). *Removal of Toxic Pollutants through Microbiological & Tertiary Treatment, New Perspective*. Elsevier.
- Reis, R. E.; Albert, J. S. (...) Rocha, L. A. (2016). Fish biodiversity and conservation in South America. *Journal of Fish Biology*, 89, 12–47.
- Reno, U.; Regaldo, L. y Gagneten, A. M. (2016). Efectos subletales de cuatro formulaciones de glifosato sobre *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia dubia* (Crustacea, Cladocera). *Natura Neotropicalis*, 47, 7–20.
- Reno, U.; Regaldo, L. (...) Gagneten, A. M. (2018a). Antibióticos en la Reserva Urbana del Oeste (Santa Fe) y su evaluación ecotoxicológica en una especie nativa de cladocero. En *VII Congreso Argentino de la Sociedad de Toxicología y Química Ambiental (SETAC ARG)*.
- Reno, U.; Regaldo, L. (...) Gagneten, A. M. (2018b). Monitoreo de plaguicidas y empleo de bioindicadores como herramientas de la gestión ambiental para dar respuesta a demandas sociales. Periurbanos Hacia el Consenso. Tiftonell, P & Giobellina, B. (Comps.). INTA.
- Revaldaves, E.; Pereira, L. H. (...) Oliveira, C. (2005). Isolation and characterization of microsatellite loci in *Pseudoplatystoma corruscans* (Siluriformes: Pimelodidae) and cross-species amplification. *Molecular Ecology Notes*, 5(3), 463–465.
- Reynolds, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press.
- Ryther, J. (1969). Photosynthesis and fish production in the sea. The production of organic matter and its conversion to higher forms of life vary throughout the world ocean. *Science* (Washington), 166, 72–76.
- Romero, N.; Attademo, A. (...) Gagneten, A. M. (2019). Analysis of the zooplanktonic community in rice cultivars during a crop cycle in agroecological versus conventional management.
- Romero, N.; Visentini, F. (...) Gagneten, A. M. (2020a). Physiological and morphological responses of green microalgae *Chlorella vulgaris* to silver nanoparticles. *Environmental Research*. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109857>
- Romero, N.; Castro, G. R. & Gagneten, A. M. (2020b). Ecotoxicological effects of AgNPs on freshwater non-target species. In Maulin P. Shah (India); Rodrigues Couto, S. (Spain) & Kumar Rudra, V. (India) (Eds.). *New Trends in Removal of Heavy Metals from Industrial Waste Water*. Elsevier (en prensa).
- Rossi, L.; Cordiviola, E. & Parma, M. J. (2007). Fishes. En Iriondo M. H.; Paggi, J. C. & Parm, M. J. (Eds.). *The Middle Paraná River: Limnology of a Subtropical Wetland*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg (pp. 305–325).
- Rosso, J. J.; Rueda, E. C.; Sanchez, S.; Bruno, M. C.; Casciotta, J.; Aguilera, G.; Mabragna, E. (2018). Basin-scale distribution and haplotype partitioning in different genetic lineages of the Neotropical migratory fish *Salminus brasiliensis*. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(2), 444–456.
- Rueda, E. C.; Amavet, P. (...) Orti, G. (2011). Isolation and characterization of eight polymorphic microsatellite markers for the migratory characiform fish, *Salminus brasiliensis*. *Journal of fish biology*, 79(5), 1370–1375.

- Rueda, E. C.; Sommer, J. (...) Orti, G. (2011). Isolation and characterization of polymorphic microsatellite loci in the migratory freshwater fish *Prochilodus lineatus* (Characiformes: Prochilodontidae). *Conservation Genetics Resources*, 3(4), 681–684.
- Rueda, E. C.; Carriquiriborde, P (...) Orti, G. (2013). Seasonal variation in genetic population structure of sabalo (*Prochilodus lineatus*) in the Lower Uruguay River. *Genetica*, 141(7–9), 401–407.
- Scarabotti, P. A.; Lopez, J. A. & Pouilly, M. (2011a). Flood pulse and dynamics of fish assemblage structure from neotropical floodplain lakes. *Ecology of freshwater fish*, 20, 605–618.
- Scarabotti, P. A.; Lopez, J. A. (...) Parma, M. J. (2011b). Morphological plasticity associated with environmental hypoxia in characiform fishes from neotropical floodplain lakes. *Environmental biology of fishes*, 92, 391–402.
- Scarabotti, P. A.; Demonte, L. D. & Pouilly, M. (2017). Climatic seasonality, hydrological variability, and geomorphology shape fish assemblage structure in a subtropical floodplain. *Freshwater Science*, 36(3), 653–668.
- Schiaffino De Marta, M. (1981). Campaña limnológica Keratella 1 en el río Paraná medio. Fitoplancton de ambientes lóticos (Argentina). *Revista de la Asociación de Ciencias Naturales del Litoral (Argentina)*, 12, 140–147.
- Sherr E. & Sherr, B. (1991). Planktonic microbes: tiny cells at the base of the ocean's food webs. *Trends Ecol. Evol.*, 6(2), 50–54.
- Siano, A.; Humpola, M. (...) De Oliveira, E. (2018). *Leptodactylus latrans* Amphibian Skin Secretions as a Novel Source for the Isolation of Antibacterial Peptides. *Molecules*, 23(11), 2943; doi: 10.3390/molecules23112943
- Siano, A.; Humpola, M. V. (...) Tonarelli, G. (2014). Antimicrobial Peptides from Skin Secretions of *Hypsiboas pulchellus* (Anura: Hylidae). *Journal of Natural Products*, 77, 831 – 841. doi: 10.1021/np4009317
- Soriano, P. & Kandel, E. (1992). Impaired long-term potentiation, spatial learning, and hippocampal development in fyn mutant mice. *Science*, 258, 1903.
- Spinelli R.; Rietmann, A. J. (...) Siano, A. S. (2019b). La piel de *Physalaemus santafecinus* (ANURA: Leptodactylidae) como agente anti-proliferativo contra leucemia monocítica aguda humana. En *XXXII Congreso Argentino de Química*; compilado por Arturo Vitale. Buenos Aires: Asociación Química Argentina.
- Spinelli, R.; Aimaretti, F. (...) Siano, A. (2019a). Amphibian skin extracts as a source of bioactive multi-target agents against different pathways of Alzheimer's disease. *Natural Product Research*. doi: 10.1080/14786419.2019.1591396
- Sverlij, S. B.; A. Espinach Ros, y Orti, G. (1993). Sinopsis de los datos biológicos y pesqueros del sábalo *Prochilodus lineatus* (Valenciennes 1847). *FAO Fisheries Synopsis*, (154), 1–64.
- Sugg, D. W. & Chesser, R. K. (1994). Effective population size with multiple paternity. *Genetics*, 137, 1147–1155.
- Szumik y Goloboff, P. (2004). Areas of endemism. An improved optimality criterion. *Systematic Biology*, 53, 968–977.
- Teglia, C.; Attademo, A. M. (...) Lajmanovich, R. C. (2015). Plasma retinoids concentration in *Leptodactylus chaquensis* (Amphibia: Leptodactylidae) from rice agroecosystems, Santa Fe province, Argentina. *Chemosphere*, 135, 24–30.
- Tilman, D. (1999). The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. *Ecology*, 80, 1455–1474.

- Tyler, M.; Wassersug, R. & Smith, B. (2007). How frogs and humans interact: influences beyond habitat destruction, epidemics and global warming. *Appl Herpetol.*, 4(1), 1–18.
- Vaira, et al., (2012). Categorización del estado de conservación de los anfibios de la República Argentina. *Cuad. herpetol.*, 26 (Supl. 1), 131–159.
- Vaschetto, P.; Regaldo, L. (...) Gagneten, A. M. (2019) Water quality as driving force or plankton biodiversity in a Natural Reserve of northeast Argentina.
- Vasquez C.; Ariza, A. y Pinilla, G. (2006). Descripción del estado trófico de diez humedales del Altiplano Cundiboyacense. *Univ. Sci.*, 11(2), 61–75.
- Whitton, B. A. & Kelly, M. G. (1995). Use of algae and other plants for monitoring rivers. *Australian Journal of Ecology*, 20(1), 45–56.
- Zumoffen, L.; Pacini, A.; Merke, J.; Gatti, M.; Dalmazzo, M. (2017) Movimiento de parasitoides (Aphidiinae) para el biocontrol de afidos plagas de afido en brassicáceas. *Horticultura Argentina*, 36(89), 112–122.
- Zumoffen, L.; Rodríguez, M. (...) Salvo A. (2015). Plantas, afidos y parasitoides: interacciones tróficas en agroecosistemas de la provincia de Santa Fe, Argentina y clave para la identificación de los Aphidiinae y Aphelinidae (Hymenoptera) conocidos de la región. *Revista Sociedad Entomológica Argentina*, 74(3–4), 133–144.
- Zumoffen, L.; Signorini, M. & Salvo, A. (2018). Bidirectional movement of aphid parasitoids (Braconidae: Aphidiinae) between crops and non-crop plants in agroecosystems of central Argentina. *Applied Entomology and Zoology*, 53(1), 1–9. doi: 10.1007/s13355-017-0520-1

## Sitios web consultados

[http://cauceecologico.org/wp-content/uploads/2019/09/Plan-de-Manejo-del-Sitio-Ramsar-Delta-del-Paran%C3%A1\\_compressed.pdf](http://cauceecologico.org/wp-content/uploads/2019/09/Plan-de-Manejo-del-Sitio-Ramsar-Delta-del-Paran%C3%A1_compressed.pdf); <http://www.jaaukanigasturismo.com.ar/planes-de-manejo.html>

## **Autoras y autores de este capítulo**

*Arzamendia Vanesa.* Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrápodos. Instituto Nacional de Limnología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL (CONICET–UNL).

*Bellini Gisela.* Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrápodos. Instituto Nacional de Limnología. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL. (CONICET–UNL).

*Giraudó Alejandro Raúl.* Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrápodos. Instituto Nacional de Limnología Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

*Imhof Alba.* Laboratorio de Zoología Aplicada: Anexo Vertebrados, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

*Larriera Alejandro.* Laboratorio de Zoología Aplicada: Anexo Vertebrados, Departamento de Ciencias Naturales, Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

*Lorenzón Rodrigo Ezequiel.* Laboratorio de Biodiversidad y Conservación de Tetrápodos. Instituto Nacional de Limnología (CONICET–UNL).

## Capítulo 7. Ciclo de vida de productos: tecnología para la gestión y el reciclado de diversos residuos

### Introducción

La sociedad contemporánea, comúnmente denominada «sociedad tecnológica», tiene al consumo y a la velocidad de renovación de bienes, como uno de sus pilares económicos más importantes. Esta característica está asociada a la constante evolución tecnológica, con la creación de productos con nuevas prestaciones y la casi inmediata sustitución de lo viejo por lo nuevo. Si bien estos «mejores y evolucionados» servicios y productos en general impactan positivamente sobre la calidad de vida de parte de la sociedad, traen aparejado un grave problema ambiental, como lo es el aumento tanto del consumo de recursos naturales, como de la generación de residuos.

Desde hace años, este modelo de consumo genera preocupación social respecto a su sustentabilidad ambiental, dando lugar al desarrollo de un conjunto de herramientas de gestión ambiental que, basadas en la prevención, mitigación, remediación y compensación, puedan disminuir los impactos negativos sobre el ambiente. Las evaluaciones ambientales de proyectos, la aplicación de mejores tecnologías disponibles (*Best Available Technologies*, BAT), los inventarios detallados de procesos y productos mediante análisis de ciclo de vida (ACV), huella de carbono, huella de agua, ecodiseño, producción más limpia (P+L), son solo algunos ejemplos de metodologías y herramientas para la minimización de impactos ambientales negativos de proceso, productos y servicios. Un caso particular de lo mencionado, lo representa el estudio de los ciclos de vida de productos, uno de cuyos ejes es la valorización de residuos por medio del reciclado, reutilización y/o disposición final de residuos.

Adoptando una perspectiva más amplia, también es necesario incluir en este análisis las cadenas de suministro (CS) asociadas a los productos. En efecto, en las últimas décadas se han realizado importantes esfuerzos para diseñar y operar CS de manera eficiente, de forma de reducir el empleo de combustibles/energía, minimizar las emisiones generadas, a la vez que se atienden las necesidades de los clientes de manera apropiada. En este sentido, inicialmente se desarrollaron metodologías sistemáticas para precisar cuál es la mejor localización de los nodos (fábricas, depósitos, centros de distribución, etc.) y estable-

cer cómo los participantes de la cadena se vinculan entre sí mediante actividades de transporte, de manera de cumplir con los requerimientos del mercado, optimizando a su vez objetivos económicos y ambientales (Melnik *et al.*, 2014)

Desde hace dos décadas se comenzaron a contemplar nuevos aspectos en el diseño, operación y control de las cs, En este sentido, ha ganado importancia la logística reversa (Dekker *et al.*, 2004), que se encarga de retornar excesos de inventario, devoluciones de clientes, productos vencidos, y componentes reciclables, así como recuperar y reciclar embalajes, envases y residuos peligrosos. También se imponen nuevos conceptos, tal como el de cs de lazo cerrado (*Closed-Loop Supply Chain*, CLSC), que se considera un sistema destinado a la maximización de la creación de valor a lo largo del ciclo de vida de un producto, con una dinámica de recuperación de valor a partir de diferentes tipos y volúmenes de retornos a lo largo del tiempo (Guide y Van Wassenhose, 2009).

Desde la Universidad Nacional del Litoral (UNL) se trabaja en la investigación y desarrollo de alternativas de valorización de residuos y efluentes, tratando de aportar soluciones innovadoras a distintos problemas locales y regionales, entre los cuales se destacan grupos de trabajo que se focalizan en situaciones propias del centro norte de la provincia de Santa Fe. En este capítulo, se describe la obtención de productos de alto valor mediante el procesamiento innovador de residuos de zanahoria y arroz, la reutilización de residuos de cítricos y yerba, la obtención de enmienda orgánica de suelos valorizando los residuos de grasa de la industria láctea, la transformación de desechos pecuarios y agrícolas en insumos para sistemas productivos agropecuarios y en energía, el reciclado sustentable del plástico de los envases de agroquímicos, que optimiza el consumo de agua de lavado, e incluye la componente de configuración óptima del sistema de logística reversa que recolecta y gestiona los envases. Además, se muestran avances en las metodologías de integración y optimización de modelos combinados de gestión integral de residuos y efluentes, la valorización y optimización de líquidos lixiviados de rellenos sanitarios mediante el estudio de microorganismos de interés biotecnológico y el desarrollo de tratamientos sostenibles y valorización energética de efluentes urbanos.



## **Valorización de residuos agroindustriales para la obtención de productos sustentables**

*Betina Faroldi,<sup>1</sup> Laura Cornaglia,<sup>1</sup> Juan Carlos Yori,<sup>1</sup> Debora Manuale,<sup>1</sup> Pablo Torresi,<sup>2</sup> Erica Schimdt,<sup>3</sup> Carlos Martín,<sup>4</sup> Pablo D. Húmpola<sup>5</sup> y Héctor S. Odetti<sup>5</sup>*

### Introducción

El alto impacto que tiene la producción global en Argentina —debido a la gran variedad de productos que se generan— permite un amplio abanico de oportunidades en la posibilidad de aprovechar valores residuales para transformarlos en productos sustentables. Entre estos, se puede mencionar la horticultura, fruticultura, la industria láctea y arroceras. Desde la UNL se han desarrollado importantes avances de los cuales se desarrollan conceptos básicos.

### Aprovechamiento de la cáscara de arroz

La creciente preocupación por el cambio climático global ha despertado el interés por la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Actualmente, las centrales eléctricas basadas en el quemado de combustibles fósiles proveen el 80 % de la producción total de la energía empleada en el mundo y constituye la mayor fuente de emisiones de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), contribuyendo con alrededor del 40 % del total de las emisiones (2020).<sup>6</sup> Esto lleva a que sean el blanco lógico para la reducción inmediata de las emisiones de  $\text{CO}_2$ . Se han planteado varias opciones para reducir estas emisiones, tales como el aumento en la producción de energías renovables, el mejoramiento en la eficiencia de la producción y consumo de energía, la confiabilidad de la energía nuclear, y además los sistemas de captura y almacenamiento de  $\text{CO}_2$ . En este contexto, un proceso que vincule la captura de  $\text{CO}_2$  y la transformación de dicho gas en una molécula de mayor valor agre-

---

1 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica «Ing. José Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).

2 Instituto de Investigaciones en Catálisis y Petroquímica «Ing. José Parera» (INCAPE) (CONICET-UNL).

3 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET-UNL).

4 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL (CONICET-UNL).

5 Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

6 Int. Energy Agency, Global Energy Review, <https://www.iea.org/>.

gado se presenta como una alternativa muy promisoría. Este objetivo puede ser abordado desde un punto de vista aún más sostenible si se enfoca al desarrollo de materiales efectivos para la captura y posterior utilización de dióxido de carbono empleando residuos agroindustriales. Las cáscaras de arroz constituyen una de las formas de biomasa proveniente de la agricultura que puede proveer alta eficiencia térmica y que además es una fuente abundante de lignocelulosa. Cuando se lleva a cabo su quemado controlado se produce una alta proporción de cenizas, constituidas principalmente por sílice. Recuperar esta sílice y reusarla como un biorecurso es importante desde el punto de vista medioambiental y contribuye al desarrollo sostenible de la región centro norte de la provincia de Santa Fe. La sílice podría tener variadas aplicaciones industriales como películas para filtros, aislantes y en compuestos de rellenos, debido a sus propiedades fisicoquímicas. Además, puede emplearse en la síntesis de materiales más complejos como silicio de grado solar, soportes micro y mesoporosos, carbones mesoporosos, carburo de silicio, vidrios, cerámicos y pigmentos (Olivares–Marín, 2010).

De esta manera se podría resolver un problema ambiental ya que se plantea la reutilización de un residuo que se genera a diario en gran volumen en las plantas arroceras. Sin embargo, el aprovechamiento de biomasa residual para la síntesis de materiales ecoamigables es un aspecto aún muy poco explorado. Dentro de las fuentes de silicio (si), la sílice que puede ser obtenida a partir de las cenizas de las cáscaras de arroz presenta la potencial ventaja de su bajo costo y bajo contenido de impurezas. En algunos trabajos recientes, el grupo ha utilizado estos precursores en la síntesis de materiales mesoporosos, zeolitas y en la preparación de catalizadores y adsorbentes basados en Li y Zr para la captura de  $\text{CO}_2$  (Salazar, 2018). Este gas capturado posteriormente puede ser reutilizado para producir gas de síntesis o  $\text{CH}_4$ .

De esta manera, se ha logrado obtener materiales basados en Si con elevada pureza, con una superficie específica que varía entre 250 y 1100  $\text{m}^2/\text{g}$  y un rendimiento másico del 20 % de sílice a partir de la cáscara de arroz. La reutilización se puede realizar partiendo de las cáscaras y realizando tratamientos simples como lavado, enjuague y secado, seguidos de un quemado controlado. Por otro lado, la extracción de la sílice de alta pureza puede llevarse a cabo empleando las cenizas obtenidas luego del aprovechamiento energético de las cáscaras de arroz (Salazar, 2020).

## Aprovechamiento de descartes de zanahoria

En Argentina se producen anualmente unas 300 000 toneladas de zanahorias en una superficie que oscila entre 7000 y 9500 hectáreas distribuidas en las provincias de Mendoza, Santiago del Estero, Buenos Aires, Córdoba, Catamarca y Santa Fe (Gaviola, 2013). El mayor porcentaje de la producción se destina al consumo en fresco.

En la provincia de Santa Fe, la producción de zanahorias es uno de los cultivos tradicionales del departamento Garay, en el corredor costero de la Ruta Provincial n° 1. Allí existen unas 1500 hectáreas destinadas a este cultivo. Una vez cosechada, la zanahoria se envía a empaque donde se lava, clasifica y embolsa, a fin de llevar al consumidor un producto de calidad. Los requisitos en cuanto a calidad –pero también en tamaño y forma– que impone el mercado consumidor, ocasionan que por temporada los empaques tengan un importante descarte de un producto que está apto para consumir pero que no cumple con las exigencias del cliente. Esto es, aproximadamente, un 30–40 % del total cosechado. En la provincia de Santa Fe, el volumen de descarte se estima en 80–100 toneladas por día durante el período de cosecha (Clementz, 2015), y se destina principalmente a consumo animal. Además de la pérdida económica que esto significa, el descarte se convierte en un problema ambiental puesto que los animales consumen entre un 15 y 20 % de lo descartado, mientras que el resto se pudre generando además de malos olores, proliferación de roedores y productos de descomposición que terminan degradando el suelo. Esta problemática se repite en las otras zonas de producción del país. Una situación similar se da con los cultivos de todas las hortalizas (papa, batata, remolacha, etc.)

En los últimos años, los productores de zanahoria del departamento Garay han introducido una serie de mejoras al proceso productivo que han permitido aumentar los rendimientos por hectárea (hasta 80–100 toneladas/ha) y mecanizar parte de las tareas de siembra y cosecha. Sin embargo, la falta de una adecuada rotación ha generado la proliferación de plagas que afectan los cultivos aumentando los niveles de descarte. Este incremento incide en la sustentabilidad de la producción, además de la pérdida económica que esto significa para los productores. De esta manera, el descarte se convierte en un serio problema ambiental, lo que constituye un obstáculo que requiere ser solucionado a la brevedad (Aimaretti, 2011; Clementz, 2017).

En el año 2013, la empresa «Val Mar de Mariano Soressi», que se dedica al lavado y empaque de zanahorias en la localidad de Santa Rosa de Calchines (departamento Garay, provincia de Santa Fe), toma contacto con la UNL a través de la Asociación para el Desarrollo de Departamento Garay, con el objeto de buscar una solución para el importante volumen de desechos

que presenta la empresa. Desde ese entonces la empresa y la UNL trabajan en conjunto. El grupo de valorización de descartes agroindustriales (GVDA), formado por investigadores de la Facultad de Ingeniería Química (FIQ-UNL) y el CONICET, es el encargado de aportar los conocimientos técnicos al proyecto.

La solución tecnológica desarrollada permitió obtener a partir del material de descarte, fibras dietarias y carotenos, que actualmente se *importan* en su totalidad, facilitando a partir de estos *alimentos enriquecidos con fibras dietarias*, como queso Por Salut, embutidos, chacinados y yogures, y la preparación de *emulsiones de carotenos en aceite vegetal y en agua*, los cuales se utilizaron con éxito en la fabricación de panificados y productos de pastelería. Con los resultados obtenidos, además se escribieron dos trabajos de propiedad intelectual (INPI: P20130104405; P20140104127). Otras preparaciones realizadas son los suplementos dietarios a base de fibra de zanahoria y cápsulas autobronceantes, los primeros ayudarían a prevenir el aumento de masa corporal y a reducir el índice glucémico y colesterolemia.

Considerando que el rendimiento por hectárea varía según la variedad de semilla utilizada y oscila entre 80 y 100 tn por ha, de cada tres hectáreas sembradas se pierde una. El objetivo inicial fue recuperar lo que el productor pierde con el descarte, sin embargo, los resultados fueron sorprendentes. El costo de semilla, siembra, laboreo, riego, plaguicidas, y cosecha es de 1000 u\$s/ha. De cada 100 tn de descarte se obtienen: i) 5000 litros de bioetanol con un precio de mercado de 1–3 u\$s/kg, ii) 3000 kg de fibra dietaria con un precio de 12–15 u\$s/kg y 20 kg de carotenos (que se comercializan en emulsiones en aceite al 0,15 %) con un precio de entre 900–1200 u\$s/kg. Esto sin considerar la venta como suplementos dietarios. El desarrollo realizado permitió plantear el escalado a nivel de planta piloto (FONARSEC 2013–Biorefinerías, ANPCYT).

### Aprovechamiento de grasas residuales de la industria láctea mediante procesos de cocompostaje

La contaminación en la industria láctea se caracteriza por ser de tipo orgánica y biodegradable con una alta tendencia a la fermentación por la conversión de lactosa a ácido láctico. A los sistemas estándares de tratamiento de efluentes se le han incorporado tecnologías de pretratamiento que permiten mejorar sus eficiencias, como es el caso de los separadores por flotación (*Dissolved Air Flotation*, DAF) que logran segregar una cantidad importante de grasas de los efluentes crudos. Más allá del tipo de sistema de tratamiento de efluentes llevado a cabo, la presencia de *fat, oil, grease* (FOGs) en los efluentes pueden provocar todo tipo de problemas en los sistemas de tratamiento biológicos,

por consiguiente, es esencial, reducir o eliminar completamente estos componentes previamente a cualquier tratamiento. No obstante su eficiencia, los biosólidos generados en los DAF representan un nuevo problema ambiental ya que este residuo se genera en grandes cantidades, presenta una alta carga orgánica y su disposición final es un tema aún no resuelto en forma efectiva. Si bien la gestión de estos residuos es complicada, es esperable que por su alta biodegradabilidad puedan ser procesados en reactores anaeróbicos o mediante cocompostaje aeróbico. Muchos autores describen las limitaciones que presenta el tratamiento de residuos grasos por vía anaeróbica, centrándose fundamentalmente en la acción inhibitoria de los ácidos grasos de cadena larga sobre las bacterias metanogénicas. En tanto, diversos grupos de investigadores estudiaron con resultados favorables el cocompostaje de residuos de naturaleza lipídica, lo que hace suponer que este residuo proveniente del DAF sería eficientemente tratado en procesos de cocompostaje.

En este sentido, los procesos aeróbicos de degradación, como es el caso del compostaje, serían más efectivos para el tratamiento de grasas residuales. Se trata de un proceso de transformación mediante el cual, bajo condiciones controladas de operación, la materia orgánica contenida en los residuos es biológicamente degradada en forma aeróbica generando gases (esencialmente vapor de agua,  $\text{CO}_2$  y  $\text{NH}_3$ ) y un sólido estabilizado (compost) que admite múltiples usos y, en función de su calidad, puede ser utilizado como mejorador de suelos. Se evaluaron distintas concentraciones del residuo DAF (70, 60, 50,30, 20 % peso), que fueron incorporados a un sustrato base compuesto por chips de poda y césped, como materiales estructurantes y fuentes de nutrientes C/N. Se realizó el seguimiento del proceso estudiando distintas variables y parámetros analíticos tales como Nitrógeno total, humedad, pH, masa seca, Carbono orgánico, test de germinación, asimismo se analizaron parámetros termofílicos que brindaron información sobre la eficiencia del sistema estudiado en cuanto al comportamiento térmico de las distintas mezclas evaluadas.

## Resultados y Conclusiones

Los resultados experimentales permitieron determinar las condiciones óptimas iniciales y de proceso en términos de la calidad del producto final, medida esta última en su relación C/N, tamaño de partícula, pH y fitotoxicidad.

El porcentaje de residuo DAF utilizado afecta directamente la calidad del producto final. Independientemente de las condiciones estudiadas, el 100 % de los reactores a los cuales se les agregó rDAF han demostrado mejores eficiencias en cuanto a comportamiento térmico con lo que puede inferirse que

el rDAF puede ser utilizado como co-sustrato en mezcla con otros residuos orgánicos que presentan menor contenido de energía ya que ayudaría a alcanzar los rangos de temperatura para sanitización del compost dado que se considera que la muerte de patógenos se produce con una temperatura de 55 °C durante al menos 72 horas (Cooperband, 2000). Se obtuvo un producto final con buena calidad física y química resultando a su vez con efectos benéficos para la fisiología vegetal.

### Aprovechamiento de descartes de cítricos y yerba mate

La presencia de contaminantes en agua, suelo y aire, como consecuencia de la actividad humana, y su impacto negativo en el ambiente y en la calidad de vida de la población es un tema de creciente importancia. En las últimas décadas, la contaminación causada por la presencia de determinadas sustancias químicas inorgánicas (gases de efecto invernadero, metales pesados) y orgánicas persistentes, tóxicas y bioacumulables, ha generado particular interés (Húmpola *et al.*, 2016).

En relación con esta problemática, se han diseñado varias propuestas con el objetivo de controlar, reducir y en algunos casos eliminar contaminantes. Dentro de estos sólidos, los más utilizados son los carbones activados debido a sus características texturales y químicas, que incluyen: gran área superficial, volumen y diámetro de poros controlables a través del proceso de preparación, así como sus propiedades químicas de la superficie.

La adsorción de solutos orgánicos y de iones metálicos en agua es una rama que ha sido de gran investigación y seguimiento en la aplicación del carbón activado, debido a la elevada capacidad de adsorción de este material, rápida cinética de adsorción y su facilidad de regeneración, la cual está directamente relacionada con su estructura porosa, área específica y estructura química superficial.

El elevado costo y la creciente demanda han hecho que en los últimos años las investigaciones se centren en obtener estos materiales a un bajo costo, utilizando como precursores residuos lignocelulósicos (Giraldo *et al.*, 2018), siendo muchos de ellos subproductos o desechos que se generan por las actividades industriales, sin tener algunos de ellos ningún valor, y en algunos casos hasta pueden ser focos de contaminación ambiental. De esta manera, la producción de carbón activado, a partir de estos desechos, está muy vinculada con la protección del medio ambiente.

Dentro de los factores a tener en cuenta al momento de elegir un precursor adecuado, podemos mencionar: buena disponibilidad, bajo costo y con-

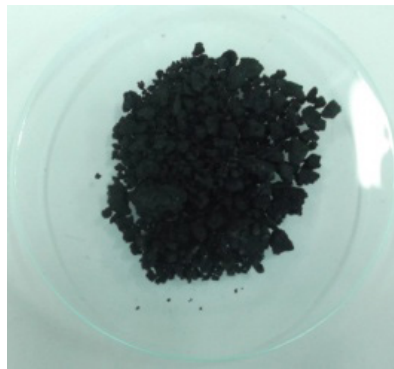
tenido inorgánico y, que el carbón resultante posea buenas propiedades mecánicas y alta capacidad de adsorción (Húmpola *et al.*, 2016).

Entre los desechos de agroindustrias locales que se pueden proponer para la preparación de carbones activados, y en particular que hemos obtenido con buenos resultados en los estudios relacionados con la retención de contaminantes orgánicos (derivados fenólicos) y de iones metálicos (cromo); se encuentran las cáscaras de cítricos (Húmpola *et al.*, 2016) y los residuos de yerba mate (De Piante Vicin *et al.*, 2018).

En términos generales, y previo al uso de estos materiales porosos en la retención de los contaminantes en agua, se establecen condiciones de preparación a partir de los precursores mencionados, empleando análisis termogravimétrico de los precursores, selección de impregnantes químicos adecuados (relación impregnante/precursor, concentración, tiempo de impregnación) y las variables de carbonización y activación (tiempo, tipo de activación física y temperatura). En las condiciones de este trabajo, para obtener los carbones activados a partir de cáscaras de naranja y yerba mate, el tratamiento consiste en impregnar el precursor con ácido fosfórico al 40 % v/v durante 24 horas a 353 K y se elimina el exceso por lavado con filtración al vacío, hasta un pH constante igual o superior a 4.50. Se carbonizan luego aproximadamente 100 g. de material seco a 723 K con velocidad de calentamiento de 2 K.min<sup>-1</sup>, manteniendo la temperatura final durante tres horas, bajo flujo de nitrógeno de 80 mL.min<sup>-1</sup>. Luego se realiza la activación física con dióxido de carbono a 1123 K y flujo de 100 mL.min<sup>-1</sup>, con una velocidad de calentamiento de 2 K.min<sup>-1</sup>, durante dos horas.



**Figura 1.** Carbón Activado de Naranja.



**Figura 2.** Carbón Activado de Yerba Mate.

Posteriormente se evalúan las propiedades texturales y químicas, empleando diferentes metodologías como la microscopia electrónica de barrido (SEM) acoplada a espectrofotometría de energía dispersiva de rayos x (EDX), isothermas de adsorción de nitrógeno (N<sub>2</sub>) a 77.4 K y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a 273 K, titulación selectiva de grupos funcionales superficiales, determinación del punto de carga cero, difractogramas de rayos x, espectroscopia infrarroja (FT-IR) con celda de reflectancia difusa y como estudio complementario análisis estadístico de datos texturales y cálculos cuánticos computacionales (Húmpola *et al.*, 2016).

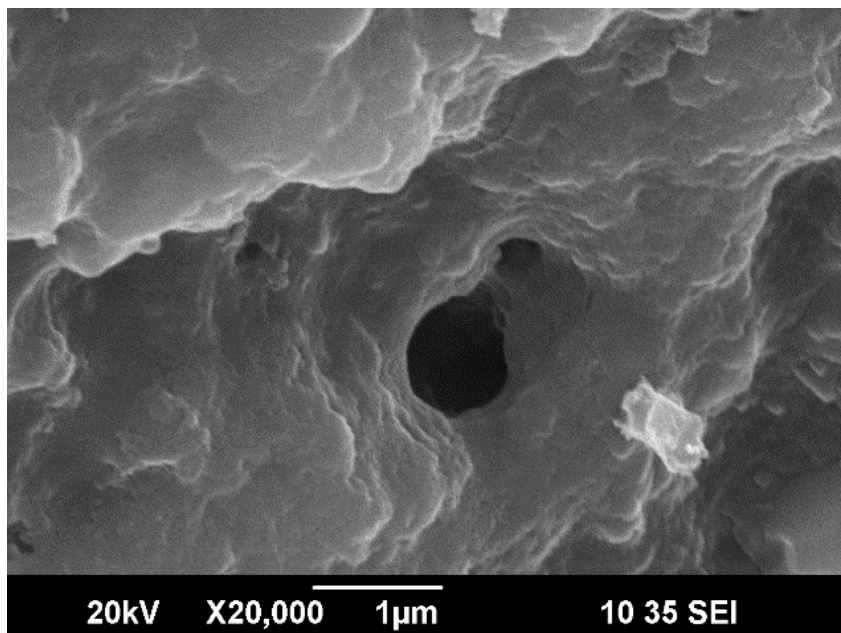
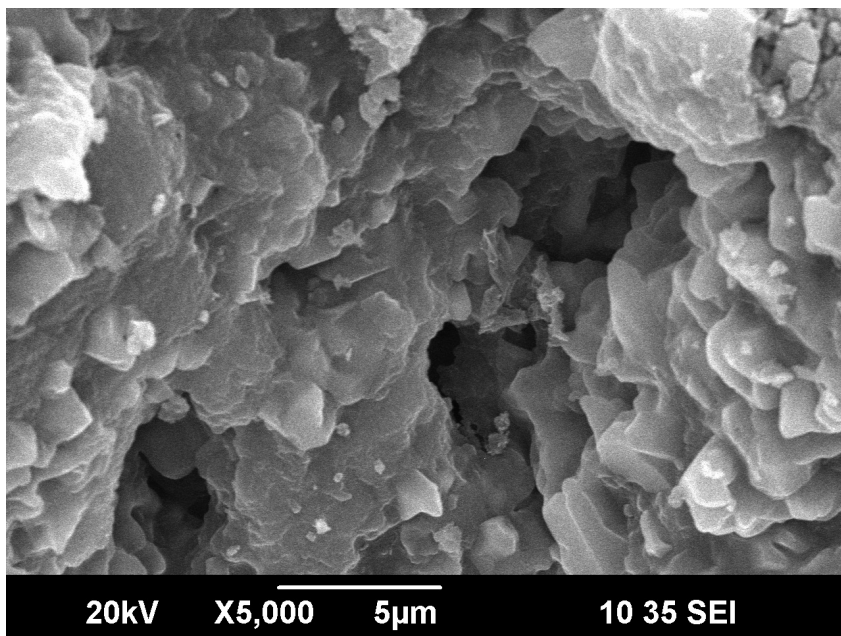


Figura 3. Microscopia electrónica de barrido (SEM) del carbón activo obtenido a partir de cáscara de naranja, para observar detalles texturales de la superficie.





**Figura 4.** Microscopia electrónica de barrido (SEM) del carbón activo obtenido a partir de yerba mate, para observar detalles texturales de la superficie.

La figura cinco muestra las aplicaciones que son posibles realizar con los carbones activados, para tratar aguas contaminadas con sustancias orgánicas de amplio uso industrial, como son los fenoles. De esta manera, se puede obtener información útil, como la capacidad máxima de adsorción de los sólidos porosos para el contaminante estudio, aplicando modelos matemáticos y análisis estadístico para el tratamiento de los datos experimentales.

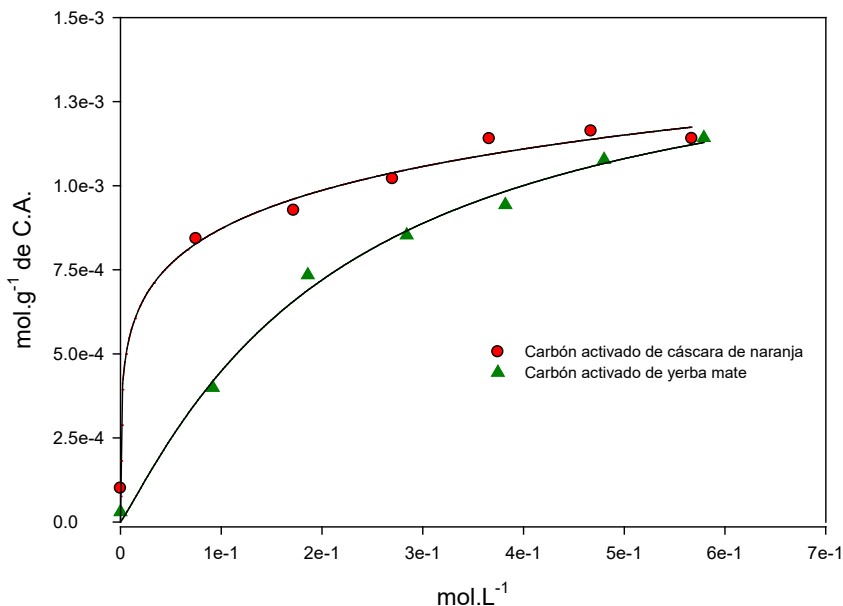


Figura 5. Adsorción de fenol en solución acuosa a 303 K. Modelo de análisis empleado: Sips.

### Tratamiento de residuos pecuarios y residuos sólidos urbanos en el centro norte de la provincia de Santa Fe

Betzabet Morero,<sup>7</sup> Diego C. Cafaro,<sup>8</sup> Silvia Imhoff<sup>9</sup> y Pablo Ghiberto<sup>9</sup>

El sector agropecuario es uno de los principales proveedores de alimentos del país y constituye una importante fuente de producción, empleo y provisión de materias primas en Argentina. En los últimos diez años en la provincia de Santa Fe, la producción de granos ha crecido notablemente debido al incremento del área cultivada y de la productividad de los cultivos. Lo mismo está ocurriendo en la producción pecuaria. Los sectores de cría intensiva de ganado bovino y porcino y de producción de leche han experimentado una serie de

7 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET-UNL).

8 Facultad de Ingeniería Química, UNL. Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET-UNL).

9 Facultad de Ciencias Agrarias, UNL. Instituto de Ciencias Agropecuarias del Litoral (ICiAgro Litoral), UNL; Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET-UNL).

cambios que se reflejan en una reducción del número de establecimientos en los que aumenta el número de animales y su capacidad de producción.

Existen alrededor de 1800 establecimientos de engorde a corral registrados en todo el país (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria – SENASA, 2013), siendo Santa Fe la tercera provincia con mayor densidad de cabezas de ganado. En el centro norte de la provincia, los departamentos San Justo, Vera y General Obligado son los que cuentan con la mayor concentración de establecimientos. Esto, inevitablemente, ocasiona un incremento en la producción de desechos derivados de esas actividades y, también, la concentración de grandes volúmenes en menos establecimientos. Los principales impactos ambientales generados por la actividad ganadera están relacionados con la contaminación del suelo y el agua subterránea, por los excrementos de los animales; y con la contaminación del aire, por las emisiones de metano y óxidos nitrosos, así como los malos olores. Actualmente, la Resolución N° 0023/09 de la provincia de Santa Fe sienta los lineamientos principales para regular esta actividad desde el punto de vista ambiental.

Por otra parte, los residuos sólidos urbanos (RSU) se generan en cantidades cada vez más importantes, y las leyes locales exigen su tratamiento. Debido al costo de inversión relativamente bajo, los rellenos sanitarios siguen siendo la alternativa más común a pesar de las desventajas ambientales que presentan frente a otras tecnologías. Además, la provincia de Santa Fe adhirió desde 2009 a la ley 13055 en la que se establece la eliminación de los basurales a cielo abierto y la reducción progresiva de la disposición final de los residuos sólidos urbanos por medio de la separación selectiva, la recuperación y el reciclado. Sin embargo, al día de la fecha se cuenta con un único complejo ambiental en el centro norte santafesino dedicado al tratamiento de RSU, por lo que los avances en este sentido resultan sumamente necesarios.

### Recuperación energética a partir de la codigestión de estiércol bovino y residuos sólidos urbanos

La digestión anaeróbica (DA) es una tecnología madura y altamente efectiva que permite, además de la gestión de los residuos orgánicos, su valorización energética y el uso del digestato como fertilizante. Principalmente en el sector rural, la DA se ha convertido en una opción atractiva como fuente de energía renovable. No obstante, el estiércol a menudo presenta bajos rendimientos de metano, por lo que la codigestión con otros sustratos es una opción beneficiosa para mejorar la eficiencia del proceso. La ventaja de la codigestión es que las plantas de biogás pueden alcanzar mayores niveles de conversión y veloci-

dades más altas en comparación con aquellas que procesan una sola materia prima, además de mejorar la calidad del gas y del digestato.

Desde la perspectiva del análisis del ciclo de vida, la codigestión de estiércol de ganado con residuos orgánicos para la producción de energía generaría menores impactos ambientales que la explotación de cultivos energéticos. Esto se debe principalmente a los beneficios ambientales de la utilización de residuos, debido a la ausencia de impactos asociados a su producción, en oposición a los altos impactos ambientales del desarrollo intensivo de cultivos como la caña de azúcar, el sorgo, la soja o el maíz. Por lo tanto, avanzar en el tratamiento integrado de residuos locales con aprovechamiento energético es una alternativa sustentable que resulta atractiva.

Además, el tratamiento integrado de ambas corrientes de residuos podría favorecer las condiciones para una recuperación energética más efectiva, mejorando los procesos anaeróbicos a través de la codigestión, y justificando mayores inversiones para el aprovechamiento de las economías de escala.

Para tratar los problemas previamente mencionados, se está trabajando en el desarrollo de un método sistemático de evaluación, que integre el análisis de ciclo de vida con técnicas de optimización económica y energética, aplicado al tratamiento de residuos de diferentes fuentes, propendiendo a la maximización de la recuperación energética y a la minimización del impacto ambiental (Morero *et al.*, 2020). Más precisamente, se pretende promover la recuperación energética de los principales residuos producidos en la región, integrando diferentes tecnologías de tratamiento, con énfasis en la DA, y distintas fuentes de generación de residuos urbanos, rurales e industriales. El objetivo es incorporar el análisis de ciclo de vida a los modelos de optimización y a los estudios de viabilidad económica de los proyectos.

La investigación apunta a hacer un aporte al dilema energía–desarrollo económico a partir del concepto de energía sustentable, al integrar el análisis de impacto ambiental al diseño de procesos de recuperación energética de residuos. De esta forma, se promueve la implementación de sistemas de gestión sustentable de residuos, facilitando su interacción y los efectos sinérgicos del procesamiento integrado.

## Recomendaciones

La región centro norte de la provincia de Santa Fe tiene un gran potencial para avanzar en el diseño y optimización de sistemas integrados de tratamiento de residuos pecuarios, principalmente el estiércol bovino generado en los establecimientos de engorde a corral, junto a los residuos urbanos generados en centros urbanos cercanos. No obstante, el proceso de toma de decisiones sobre las configuraciones posibles es complejo y requiere la consideración de diversos factores (económicos, sociales y medioambientales), sobre la base de un abordaje interdisciplinar y multi-objetivo. Nuestro trabajo es un aporte sistemático a la resolución de problemas en esa dirección.

### Uso de desechos pecuarios como abono orgánico

Los desechos pecuarios, constituidos básicamente por una mezcla de estiércol, orina, restos de alimentos y agua proveniente de la lluvia y del lavado de las instalaciones, generados por el ganado han sido considerados un recurso muy valioso para incrementar la producción de los cultivos desde el principio de la agricultura organizada debido a que los nutrientes que poseen son necesarios para el crecimiento de las plantas. Su empleo requiere que estos desechos sean sanitizados, lo que engloba diversos procesos que demandan esfuerzo y tiempo. El advenimiento de nuevas tecnologías, entre ellas la disponibilidad de fertilizantes inorgánicos a buen precio, llevó a que el reúso de los desechos pecuarios en los mismos establecimientos fuera abandonado y que los mismos se acumulen en cualquier lugar. En estos casos, los desechos pecuarios pueden constituir un riesgo para el ambiente debido a su elevado potencial de contaminación de los recursos naturales suelo, aire y agua (superficial y subterránea).

Sin embargo, es importante tomar conciencia que, en la actualidad, para cada sistema de producción animal (cerdos, tambo, producción estabulada o a corral de bovinos, etc.) existen diversos tipos de sistemas de almacenamiento, tratamiento y disposición final que permiten un reúso adecuado y seguro. Por lo tanto, transformar los desechos pecuarios en insumos que permitan sustituir total o parcialmente el uso de fertilizantes inorgánicos y que, además, permitan mejorar la calidad química y física de los suelos de la provincia de Santa Fe es un gran desafío debido al estado de degradación que manifiestan los suelos, principalmente los más productivos, que vienen siendo cultivados desde hace más de 100 años (Gambaudo *et al.*, 2014).

La industrialización de productos de origen agrícola también es una fuente importante de desechos. Se pueden mencionar los provenientes de la industria aceitera, del procesamiento de arroz o maíz; todas generan algún tipo de desecho durante el procesamiento de los granos hasta obtener el producto final. Estos desechos también pueden transformarse en fuentes de nutrientes y materia orgánica para los suelos y cultivos si son debidamente procesados. En los últimos años las industrias comenzaron a manifestar interés en estos aspectos ya que visualizan la transformación de los desechos en insumos de la actividad agrícola como un nuevo negocio.

El grupo de investigación en Suelos y Aguas, constituido por docentes–investigadores de las cátedras de Edafología, Diagnóstico y Tecnología de Agua y Diagnóstico y Tecnología de Tierras de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL), trabaja desde hace varios años en el empleo de los desechos de origen pecuario como abono orgánico. Ha generado información sobre composición fisicoquímica y microbiológica de desechos pecuarios de diversos orígenes, efecto de los mismos sobre respuesta productiva de cultivos y pasturas, sobre la calidad química y física del suelo, persistencia de patógenos en el suelo, movimiento en el suelo de nutrientes adicionados con los desechos a través de lixiviación, secuestro de carbono y liberación de gases de efecto invernadero. Además, se ha generado información sobre ventajas y desventajas de cada sistema de aplicación, i.e. riego, inyección en el suelo o dispersión de sólidos, lo que ha llevado al desarrollo de maquinaria específica para cada caso a través de proyectos conjuntos entre investigadores y empresas.

En general, los resultados indican que tanto los desechos pecuarios como los desechos que provienen de la industrialización de granos poseen una composición fisicoquímica muy variable derivada de la multiplicidad de factores intervinientes en su generación, lo que no permite una estandarización de su composición. Sin embargo, se debe mencionar su riqueza en macro y micronutrientes esenciales para las plantas y materia orgánica, lo que depende del origen.

Los estudios realizados aplicando desechos sanitizados al suelo para determinar la respuesta productiva de diversos cultivos, lo que implica la aplicación de diversas dosis, han demostrado que la respuesta productiva de los cultivos es la típica curva polinómica de segundo grado (Nicollier *et al.* 2017; Imhoff *et al.* 2018a y 2018b). Esto indica que existe una dosis óptima de aplicación que depende, por un lado, de la fertilidad del suelo y del contenido de nutrientes del desecho en el momento de la aplicación y, por otro, del requerimiento del cultivo y del rendimiento objetivo. Además, se ha verificado que aplicando la dosis óptima no se genera lixiviación de nutrientes (Peretti *et al.* 2018; Ghiberto *et al.* 2020), la liberación de gases de efecto invernadero es mínima y la cantidad de patógenos presentes en el suelo se mantuvo por debajo del umbral

crítico (Carrizo *et al.* 2019). Por lo tanto, el empleo de la dosis óptima, agrónomicamente determinada, asegura el uso eficiente y ambientalmente seguro de los desechos, o sea: «la transformación de un desecho en un insumo dentro del mismo sistema productivo».

Sin embargo, se debe mencionar que los desechos pecuarios pueden contener elementos capaces de ocasionar degradación física del suelo, como el sodio, cuya presencia en los desechos está condicionada por la presencia de dicho elemento en el agua que se utiliza para lavado o procesamiento (Imhoff *et al.* 2014; Ghiberto *et al.* 2020). Otro aspecto a ser considerado es que la aplicación continua de un mismo tipo de desecho pecuario en dosis inadecuadas puede llevar a una acumulación de los nutrientes poco móviles en los horizontes superficiales del suelo y a aumentar las pérdidas por lixiviación y/o volatilización de otros nutrientes, así como originar alteraciones en la relación de nutrientes del suelo que originan desbalances en las plantas. Del mismo modo, la aplicación de desechos pecuarios que no estén debidamente sanitizados puede favorecer la dispersión de agentes patógenos.

## Recomendaciones

Para que los desechos pecuarios sean utilizados como insumos de forma agrónomicamente eficiente y ambientalmente segura, una serie de puntos que sirven de guía para el diseño y aplicación de un «Plan de Buenas Prácticas para el Manejo y Uso de Desechos Pecuarios» deben ser respetados, a saber:

- 1) Realizar un correcto diagnóstico del sistema productivo global: Para esto se debe reunir información de relieve, suelos, clima, localización dentro del establecimiento, distancia a vías de escurrimiento artificiales y/o naturales, como arroyos y ríos, distancia a centros urbanos. Determinar la superficie total y que puede ser utilizada para la aplicación de los desechos; la rotación de cultivos; el esquema de fertilización; la maquinaria disponible; el tamaño, categorías, y manejo del rodeo; determinar la calidad del agua y su manejo correcto en el establecimiento (corral, tambo, galpón de cría, etc.).
- 2) Analizar el sistema de producción de desechos: Esto implica determinar el volumen producido, dimensionar correctamente el sistema recepción y saneamiento de los desechos y determinar la composición fisicoquímica y microbiológica de los desechos al finalizar la etapa de sanitización para determinar si es correcto o realizar las modificaciones necesarias.
- 3) Determinar el mejor sistema de aplicación de los desechos en función de las características de los desechos y del sistema productivo global.

- 4) Identificar los lotes en que los que se puede aplicar desechos en función de propiedades físicas y químicas del suelo, relieve, tipo y rotación de cultivos, etc.
- 5) Determinar la dosis de aplicación de desechos en función de su composición, de la fertilidad química del suelo y del requerimiento de producción del cultivo a implantar.
- 6) Realizar un monitoreo periódico permanente del funcionamiento del sistema productivo global, realizando verificaciones en los puntos de control específicos y análisis de suelo y de la napa freática.

### **Gestión integral de envases de agroquímicos**

*Cristina Zalazar*<sup>10</sup> y *Gabriela Henning*<sup>11</sup>

Un problema de gran vigencia en la actualidad es el de recolección y disposición final de envases de fitosanitarios, de manera de evitar la contaminación de suelos y cursos de agua, incurriendo en mínimos costos e impacto ambiental (Vidal, 2014).

#### **Planta de reciclado integral de envases de agroquímicos**

La Cooperativa Agrícola Mixta Limitada de Margarita funciona desde 1948 en la ciudad de Margarita, al norte de la provincia de Santa Fe. Su actividad principal es el acopio de cereales y oleaginosas, la producción de alimentos balanceados y la venta de semillas y agroquímicos. Entre sus objetivos se encuentra el de brindar soluciones sustentables a los envases de agroquímicos, no solo de la zona de influencia, sino también de toda la región. En virtud del mismo y frente a la necesidad de establecer vínculos con áreas científico–tecnológicas relacionadas al tema, la Cooperativa obtuvo un primer financiamiento de la Agencia Santafesina de Ciencia, Tecnología e Innovación de Santa Fe para desarrollar un proyecto de Innovación Productiva conjuntamente con un grupo de I + D del INTEC. El grupo de investigación cuenta con antecedentes en la descontaminación de efluentes y, especialmente, en el tratamiento de efluentes contaminados con agroquímicos.

---

10 Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET–UNL), Dep. Medioambiente. Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL

11 Instituto de Desarrollo Tecnológico para la Industria Química (INTEC) (CONICET–UNL), Facultad de Ingeniería Química, UNL.



Los beneficios esperados de este proyecto incluyen la eliminación de los actuales focos de contaminación debido a la acumulación y disposición descontrolada de envases de agroquímicos, además del cumplimiento de las normas legales sobre disposición de residuos peligrosos, la protección del ambiente y la salud humana y la incorporación de prácticas de trabajo adecuadas por parte de los trabajadores involucrados en el sector agrícola. Los beneficiarios directos de este desarrollo son pequeños y medianos productores agrícolas asociados a la Cooperativa pudiéndose extender en el futuro a otros interesados en la región.

La legislación establece que los bidones de agroquímicos utilizados deben tratarse como «residuos peligrosos». La única alternativa disponible hoy en la región para tratar residuos de estas características es la «incineración controlada sin recuperación energética»; que, es considerada desde el punto ambiental, menos indicada que el reciclado de plástico, y que además posee costos sumamente elevados, haciéndola en la práctica inviable. El proyecto incluye una solución innovadora que consiste en el diseño del sistema que transforma un procedimiento estándar de molienda de plásticos en una planta de tratamiento integral que permite reciclar los envases al mismo tiempo que logra la remediación de los efluentes generados. Para el lavado del plástico se optimiza el consumo de agua de manera de reducir al mínimo posible el efluente a tratar a través del diseño de una «descontaminadora/lavadora secuencial» (desarrollo tecnológico del grupo de I+D). Este desarrollo incluye también el diseño de un fotorreactor que puede disminuir notablemente los niveles de agroquímicos en el agua utilizada para el lavado del plástico combinando la acción de luz ultravioleta (UV) con agua oxigenada. En este sentido, se han realizado varios trabajos de investigación sobre la aplicación de este proceso avanzado de oxidación a la degradación de los agroquímicos más usados en la región, como por ejemplo, glifosato (Vidal *et al.*, 2015), 2,4-D y atrazina (López *et al.*, 2018). En su fase inicial la planta permitirá tratar 150 envases por hora pudiéndose en un futuro ampliar su capacidad operativa (Foto 1).



**Figura 6.** Planta de reciclado de la Cooperativa de Margarita.

Se obtendrá un beneficio económico producto de la transformación de lo que hoy es un problema (envases contaminados), en un material de uso comercial con un creciente mercado (escamas de plástico reciclado). Otro beneficio muy importante incluido es el alcance de las acciones previstas en el programa de capacitación y comunicación direccionado a concientizar a productores y a la población de la zona sobre la problemática de los envases de agroquímicos y su tratamiento y los beneficios de su adecuado manejo y disposición. La Cooperativa está implementando, junto al grupo de I+D, como aporte para toda la comunidad, charlas de sensibilización y capacitación en temas relacionados con el Proyecto (Foto 2). Sobre este aspecto ya se realizó la Primera Feria Ambiental en Margarita con la participación de las escuelas rurales y diferentes organizaciones sociales. Estas tareas, además de las estrictamente técnicas, se realizan con el objeto de que toda la comunidad tenga acceso a la información necesaria para comprender la importancia del proyecto generado en su localidad, para luego poder sentirse parte del mismo, apropiarse y lograr así el éxito del mismo. Con la implementación de este desarrollo, la provincia de Santa Fe sería una de las primeras en abordar adecuadamente la problemática de los envases de agroquímicos.



**Figura 7.** Material de divulgación y comunicación del proyecto.

El proyecto fue acreditado como Proyecto de Desarrollo Tecnológico y Social (PDTs) y presentado en el 2018 en EXPOAGRO como ejemplo de innovación tecnológica por los Ministerios de Ciencia, Tecnología e Innovación y de Producción de Santa Fe. El equipamiento necesario para el tratamiento de efluentes (lavadora secuencial y fotorreactor) fue terminado de construir recientemente y en los próximos meses será instalado en la planta de reciclado para comenzar con el reciclado de los bidones.

### Logística de recolección y gestión de los envases de agroquímicos

La legislación vigente prescribe, además, que se debe establecer la logística general para la gestión integral de los envases, en el marco de un sistema que debe articular los traslados en tres etapas o eslabones: (i) del usuario al centro de almacenamiento transitorio (CAT), siendo este una facilidad que permite acumular los envases de un conjunto de establecimientos, para que luego puedan ser enviados hacia una planta de reciclado/disposición de manera consolidada, reduciendo los costos de transporte, (ii) del CAT al operador (OP), (iii) del OP a la industria.

La importancia de la logística queda también establecida en el apartado 3.3 del Código Internacional de Conducta sobre la Distribución y Utilización de Plaguicidas (FAO, 2008) donde se proponen dos estrategias alternativas para desarrollar un plan de manejo de envases, a saber: a) Establecer un esquema de distribución invertida que utilice la infraestructura que fue establecida para distribuir los productos a los usuarios, como un mecanismo para recuperar materiales en el sentido opuesto (cadena de suministros de lazo cerrado); b)

Configurar una red de centros de recolección con puntos en los que los usuarios puedan entregar los envases vacíos. Estos centros de recolección son utilizados para realizar la segregación de los distintos materiales de cada envase y el pretratamiento de los mismos, como la trituración, compactación y el armado de bultos, con el fin de aumentar la densidad del material y mejorar la eficiencia del posterior transporte. Esta segunda alternativa es la que, como se mencionara, prevé la legislación argentina, tratándose de una cadena de suministro reversa.

Se concluye, entonces, que los aspectos logísticos juegan un rol central en un sistema de recolección de envases de agroquímicos. En particular, el transporte constituye un elemento crítico en este sistema, no solo por los elevados costos de esta actividad en la Argentina, sino también por el impacto ambiental que la misma genera. Cuanto menores sean las distancias totales recorridas y más eficiente sea el empleo de la capacidad útil de los vehículos, más económico y sustentable será el sistema. Debe considerarse que en caso de los bidones de agroquímicos el transporte tiene un elevado costo, originado en las grandes distancias a recorrer con un material de baja densidad que, de por sí, da lugar a un uso ineficiente de los vehículos. A estos factores se suma el hecho que los traslados del usuario al CAT deben hacerse en vehículos de pequeño porte, cuya tasa de transporte es más elevada, ya que de acuerdo con la legislación vigente no es posible trasladar más de 6 m<sup>3</sup> de envases vacíos en vehículos no autorizados. La eficacia de este sistema será función, entonces, de poder efectuar un mayor uso de vehículos de gran porte, reduciendo así el número de viajes y el costo de la tonelada transportada por km recorrido. Ello se logrará con la instalación de un mayor número de CATs, lo cual tiene también asociado un costo de inversión y de operación más elevado. Se detecta así un compromiso o *trade-off* entre la reducción de los costos de transporte y la instalación de un mayor número de CAT.

Con este marco de referencia, y motivado por el desarrollo de la planta piloto descrita en los párrafos precedentes, otro grupo de I+D de INTEC identificó un problema de gran vigencia en el centro norte santafesino: el diseño de un sistema integral de recolección y gestión de los envases de agroquímicos que generan los establecimientos agrícolas.

Para brindar una primera solución a este problema se desarrolló un modelo de toma de decisión, basado en programación matemática mixta-entera lineal (MILP). Este tipo de enfoque es el más utilizado para la resolución de los problemas de configuración de cadenas de suministro (Dekker *et al.*, 2004). El modelo en cuestión se sustenta en una estructura multiperíodo, a efectos de

contemplar la operación del sistema logístico en un horizonte de planeación de varios años. Los datos de entrada del modelo son la ubicación de los establecimientos agrícolas, el volumen de envases generado en la actualidad y el volumen esperado en los años venideros, por cada establecimiento, así como las posibles ubicaciones de los centros de acopio y las plantas de tratamiento, los costos de instalación y operación de estas facilidades, en función de su tamaño, y los costos de transporte para los distintos tipos de vehículos. A partir de las ubicaciones de las potenciales plantas de tratamiento y centros de acopio, el modelo determina cuáles habilitar. También establece en qué momento serán instaladas y cómo serán operadas dichas facilidades, considerando el tiempo de puesta en marcha de las mismas. Asimismo, el modelo contempla la capacidad operativa de los distintos centros y plantas y establece los flujos de materiales de la red. En efecto, determina para cada usuario en qué CAT o planta de tratamiento deberá entregar sus envases. La función objetivo de la formulación matemática se basa en la minimización de los costos totales del sistema, los cuales abarcan la inversión necesaria para instalar las distintas facilidades y los costos de la posterior operación de la cadena de suministros reversa. Los últimos comprenden los costos vinculados al transporte de bidones (en sus diferentes variantes), la operación de las distintas facilidades y, por último, los costos de enviar los desechos generados en las plantas de tratamiento a disposición final.

El modelo desarrollado ha sido aplicado a diferentes escenarios de operación —con distinto número de establecimientos agrícolas, CATs y plantas, diferentes perfiles de generación de envases, etc.— que involucran los departamentos General Obligado, San Javier y Vera, de la provincia de Santa Fe. Los resultados preliminares hallados permitieron confirmar cuán relevante es definir una estructura adecuada para lograr un sistema económico y sustentable. Asimismo, ratificaron las presunciones iniciales acerca de la importancia del transporte en la eficiencia de esta cadena de suministro reversa.

## **Tratamiento de efluentes líquidos en áreas urbanas. Uso de microorganismos de interés biotecnológico**

*Laura Modini,<sup>12</sup> Mariel Zerbato,<sup>12</sup> María Gabriela Latorre Rapela,<sup>13</sup>  
Vanina Márquez,<sup>14</sup> María Fernanda Argaraña,<sup>15</sup> María Celia Vaccari,<sup>15</sup>  
Luciana Regaldo,<sup>16</sup> Ana María Gagnetten<sup>16</sup> y Wanda Polla<sup>16</sup>*

### Introducción

El vertido de aguas residuales domésticas sin depurar al mar, ríos y lagos y la infiltración de excretas provenientes de pozos negros y redes cloacales mal mantenidas, constituyen una de las causas principales de contaminación de aguas superficiales y subterráneas. La Organización Mundial de la Salud (2019) estima que 2100 millones de personas en todo el mundo se abastecen de una fuente de agua no segura y que 502 000 personas al año mueren por diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua, un saneamiento insuficiente o una mala higiene de las manos. Además del aumento del riesgo sanitario de la población de la zona, el efecto en el entorno lleva a una desvalorización de los barrios linderos y puede incidir negativamente en el desarrollo de actividades recreativas y productivas como por ejemplo los deportes, la pesca y el turismo.

De acuerdo con el Informe País Argentina 2018: Objetivos de Desarrollo Sostenible (Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales, 2018), solamente el 50 % de la población argentina se encuentra conectada a la red cloacal. En 2010, el volumen de agua residual municipal producido se estimó en 2,458 km<sup>3</sup> y el recolectado en 1,596 km<sup>3</sup>, mientras el volumen tratado fue de 0,290 km<sup>3</sup> (12 % del total) (FAO, 2016).

Las aguas residuales urbanas están formadas por la mezcla de aguas domésticas y comerciales, pero además, su composición puede estar influenciada con aguas industriales (se excluyen las que son tratadas *in situ* en las plantas o se vuelcan directamente en cursos de aguas superficiales) o con la escorrentía de aguas pluviales y la proveniente de la limpieza de calles y veredas en el caso de sistemas de recolección unitaria. Además del contenido de materia orgánica, estas aguas se caracterizan por la presencia de microorganismos patógenos y pueden ser ricas en nitrógeno y fósforo, nutrientes que aceleran la eutrofización.

---

12 Cátedra Tratamiento de Efluentes. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

13 Cátedra de Microbiología General. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

14 Laboratorio de Fermentaciones. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

15 Cátedra de Microbiología General. Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas, UNL.

16 Laboratorio de Ecotoxicología. Departamento de Ciencias Naturales. Facultad de Humanidades y Ciencias, UNL.

Otra fuente de contaminación importante son los líquidos lixiviados provenientes de residuos sólidos urbanos (RSU) de rellenos sanitarios y basurales a cielo abierto. La provincia de Santa Fe no es ajena a esta problemática. Cuenta con una población superior a los 3 000 000 de habitantes que generan en forma estimada 3000 Tn de RSU/día de los cuales, a través de la recolección informal y las plantas de clasificación, se recupera en el orden de un 20 %. En la provincia existen tres complejos ambientales con rellenos sanitarios autorizados (uno privado y dos público-privados) que tratan aproximadamente 1400 Tn/día. El resto, aproximadamente otras 1000 Tn, generan basurales descontrolados a cielo abierto, infiltrando el suelo y contaminando las napas.

Los lixiviados se caracterizan por ser mezclas complejas con concentraciones elevadas de compuestos orgánicos e inorgánicos y, ocasionalmente, metales pesados. Para minimizar los riesgos ambientales y de salud en la población, se requiere incrementar el conocimiento y la accesibilidad de los tratamientos disponibles para los líquidos lixiviados generados por la disposición final de los RSU mediante el uso de microorganismos, con la meta de conservar la integridad ecosistémica del curso de agua receptor, el río Salado, y reproducir esta tecnología en otras localidades de la región, basándonos en sus bajo costo y complejidad en relación con tratamientos fisicoquímicos implementados en otros países.

Los lixiviados tienen gran cantidad y diversidad de microorganismos entre los que podrían encontrarse algunos reconocidos por ser importantes biodegradadores de residuos sólidos plásticos, tales como bacterias y hongos y otros como las microalgas que se caracterizan por presentar numerosas aplicaciones biotecnológicas actuales y potenciales, como por ejemplo en la producción de alimentos para la acuicultura, productos nutraceuticos, y también la producción de biodiésel a partir del aceite obtenido de las especies oleaginosas.

El tratamiento de aguas residuales tiene por objeto prevenir la contaminación del medio ambiente y preservar la salud humana, además de suministrar un recurso susceptible de ser aprovechado en diversos usos. En la actualidad, se encuentran funcionando 535 plantas de tratamiento de aguas residuales en el país, incluyendo efluentes cloacales, domiciliarios, de actividades y agroindustriales (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Presidencia de la Nación, 2017). En la provincia de Santa Fe, existen poco más de 50 plantas, siendo el tipo de tratamiento predominante las lagunas de estabilización (> 90 %).

El agua ocupa un lugar de relevancia entre los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6) y la comunidad internacional promueve enfoques innovadores y más efectivos en su gestión ambiental, como por ejemplo, soluciones basadas en la naturaleza, que utilizan o imitan los procesos naturales y que pueden implicar la conservación o rehabilitación de los ecosistemas natura-

les y la mejora o creación de procesos naturales en ecosistemas modificados o artificiales. Además, recientemente ha habido un cambio de paradigma en la forma en que se ven las aguas residuales, que ya no se consideran como un residuo que requiere eliminación, sino como una fuente recuperable de agua potable, recursos y energía.

A continuación, se presentan tres proyectos en los que se está trabajando para contribuir a resolver de manera sostenible la problemática ambiental planteada.

### Tecnologías alternativas para el tratamiento sustentable de aguas residuales municipales y la generación de energía renovable

Los humedales bioelectrogénicos son una tecnología novedosa que consiste en una combinación delicada de humedales construidos o artificiales (HA) y técnicas electroquímicas microbianas (TEM), en la que los contaminantes del agua servida pueden ser removidos eficientemente debido al efecto sinérgico entre estos dos sistemas mientras se produce electricidad. Las TEM se basan en la interacción de bacterias electroactivas (BEA) y materiales electroconductores. Una posibilidad es usar electrodos como aceptor/donante de electrones provenientes de la oxidación de los compuestos orgánicos del agua residual por las BEA y recuperar la energía eléctrica generada simultáneamente a través de un circuito externo. Para ello es necesario la existencia de un gradiente de óxido-reducción entre el ánodo y el cátodo que en los humedales puede ser hallado naturalmente, dependiendo de la dirección del flujo y la profundidad (Doherty *et al.*, 2015). Este gradiente se establece básicamente entre la parte superficial y el fondo, o bien, entre aquellas partes que pueden recibir el oxígeno suministrado por las plantas (rizósfera) y las que no.

Generalmente, el agua residual recibe un pretratamiento o tratamiento primario antes de pasar a través del electrohumedal durante un tiempo adecuado, donde es descontaminada. La utilización de agua residual urbana como sustrato y fuente de microorganismos permitiría obtener un sistema funcional, con capacidad para depurar este tipo de efluentes y adaptable a las particularidades locales. Se ha encontrado que *Escherichia coli*, la bacteria predominante en las heces de los animales homeotermos, produce metabolitos primarios que pueden ser usados por otras bacterias como mediadores redox para transferir los electrones al ánodo (Rabaey & Verstrae, 2005).

Los electrohumedales han demostrado mejorar ampliamente la tasa de saneamiento de los HA tradicionales al promover la actividad de BEA que, de otro modo, son un grupo menor de bacterias en humedales naturales (Agui-



re-Sierra, 2017). Resultados previos del grupo de investigación muestran una eliminación de DQO superior al 88 % en el electrohumedal y densidad de potencia máxima de 8 mW/m<sup>2</sup> área superficial anódica, mientras que en el humedal tradicional la remoción estuvo comprendida entre el 76 y el 86 % (*U-test*,  $p = 0,03$ ).

La tecnología descrita se podría aplicar en comunas de la provincia de Santa Fe que actualmente carecen de sistemas adecuados de tratamiento de agua residual urbana. Estos centros se enfrentan a importantes barreras para construir y mantener servicios de tratamiento de efluentes sanitarios eficientes, incluyendo: recursos financieros y capacidad de gestión limitados, población dispersa o escasa y aislamiento geográfico. Dado que es un sistema que reduce la cantidad de energía y el área necesaria para tratar las aguas residuales, también reduce los costos de las comunas, las emisiones de CO<sub>2</sub> y la huella hídrica. El agua depurada se podría utilizar para regar jardines o áreas verdes, aumentando su importancia en zonas con escasez de agua. Además, las plantas brindan un atractivo visual a las instalaciones.

#### Caracterización microbiológica del lixiviado y lagunas de tratamiento del Relleno Sanitario de la ciudad de Santa Fe

Estudios realizados sobre el tratamiento de los lixiviados, previo a ser volcados en cursos de aguas naturales, mostraron que los métodos biológicos son los más adecuados y económicos, siendo el de mayor perspectiva el proceso de degradación anaerobia. El mismo consiste en la transformación de la materia orgánica, a través de una serie de reacciones bioquímicas en productos capaces de ser aprovechados como fuente de energía (gas metano) y fertilizante para suelo (biomasa). En esta transformación participan diferentes grupos metabólicos microbianos. El balance en el tamaño de las poblaciones de estos grupos metabólicos es uno de los determinantes más importantes de la eficiencia y robustez del tratamiento de depuración (Sarkar *et al.*, 2016). En este contexto, la caracterización de los lixiviados es fundamental para determinar estrategias de tratamiento que contrarresten sus potenciales efectos tóxicos. El conocimiento de la microbiota presente en ellos y en las lagunas de tratamiento permitiría entender mejor qué procesos de degradación están ocurriendo, como así también evaluar posibles modificaciones que permitan optimizar dicho proceso.

Para esto, se recolectaron muestras correspondientes a: entrada del lixiviado crudo; entrada y salida de la laguna anaerobia y entrada y salida de la laguna aerobia. Los muestreos se realizaron en meses de altas y bajas precipitaciones

(noviembre y marzo; junio y septiembre). Con respecto a los grupos bacterianos aerobios se cuantificaron las bacterias mesófilas totales (BMT) y bacterias no fermentadoras de glucosa (BNF) mediante recuentos en profundidad y en superficie, respectivamente. Los coliformes totales (CT) y termotolerantes (CTT) se contaron mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples, combinación 3,3,3. En la tabla 1 se muestran los promedios de los recuentos de los grupos bacterianos aerobios en los meses de altas y bajas precipitaciones y la eficiencia de remoción correspondiente.

**Tabla 1.** Promedios de los recuentos de los grupos bacterianos aerobios en los meses de altas y bajas precipitaciones y la eficiencia de remoción correspondiente.

Grupos bacterianos aerobios <sup>a</sup>	Promedios de recuentos en meses de altas precipitaciones		Promedios de recuentos en meses de bajas precipitaciones	
	Noviembre	Marzo	Junio	Septiembre
BMT (UFC/mL) <sup>b</sup>	1,3.10 <sup>6</sup>	1,0.10 <sup>5</sup>	5,1.10 <sup>5</sup>	8,9.10 <sup>5</sup>
BNF (UFC/mL)	1,1.10 <sup>6</sup>	9,6.10 <sup>4</sup>	3,8.10 <sup>4</sup>	6,9.10 <sup>4</sup>
CT (NMP/100mL) <sup>c</sup>	2,8.10 <sup>4</sup>	1,2.10 <sup>4</sup>	3,0.10 <sup>5</sup>	2,9.10 <sup>5</sup>
CTT (NMP/100mL)	2,8.10 <sup>4</sup>	3,4.10 <sup>2</sup>	4,0.10 <sup>4</sup>	1,2.10 <sup>5</sup>
Eficiencia de remoción (%)	76,6	78,1	94,8	97,1

<sup>a</sup> Las siglas BMT, BNF, CT y CTT significan Bacterias Mesófilas Totales, Bacterias No Fermentadoras de Glucosa, Coliformes Totales, Coliformes Termotolerantes, respectivamente.

<sup>b</sup> La sigla UFC significa Unidad Formadora de Colonias.

<sup>c</sup> La sigla NMP significa Número Más Probable.

Con respecto a los grupos metabólicos anaerobios se caracterizaron: bacterias fermentadoras de glucosa (BFG) y del lactato (BFL); bacterias acetogénicas del propionato (BAP) y el etanol (BAE) y bacterias metanogénicas hidrogenofílicas (BMH) y acetoclásticas (BMA), mediante la técnica de NMP (n=3) en distintos medios de cultivo según la población a estudiar y se procesaron en cámara de anaerobiosis con atmósfera controlada de N<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>/CO<sub>2</sub>. En este caso, todos los grupos metabólicos anaerobios analizados, produjeron metano. (Argaraña *et al.*, 2019).

Para comprender como funcionan estos ecosistemas altamente contaminados, se analizaron las comunidades microbianas en las lagunas de tratamiento anaeróbico y aeróbico, del lixiviado producido, durante los meses de junio y septiembre, mediante el estudio metagenómico por secuenciación de alto rendimiento de genes del 16S rRNA y análisis bioinformático de los resultados. En la tabla 2 se muestran los porcentajes de las secuencias dominantes de las comunidades microbianas, correspondientes al dominio *Bacteria* y al dominio *Archaea*.

**Tabla 2.** Porcentajes de las secuencias dominantes de las comunidades microbianas presentes en muestras de las lagunas de tratamiento anaeróbico y aeróbico en los meses de junio y septiembre.

Comunidades microbianas		Porcentaje de secuencias dominantes en muestras de la laguna de tratamiento anaeróbico (%)		Porcentaje de secuencias dominantes en muestras de la laguna de tratamiento aeróbico (%)	
		Junio	Septiembre	Junio	Septiembre
Dominio <i>Bacteria</i>	Phylum <i>Proteobacteria</i>	13,62	20,78	38,54	38,18
	Phylum <i>Bacteroidetes</i>	14,34	13,83	28,32	30,80
	Phylum <i>Firmicutes</i>	36,23	29,85	1,6	2,7
Dominio <i>Archaea</i>	Phylum <i>Euryarchaeota</i>	1,5	2,4	0,3	0,5

Otros phyla con menor cantidad de secuencias encontradas en la laguna de tratamiento anaeróbico fueron *Synergistetes*, *Tenericutes*, *Thermotogae* y *Verrucomicrobia*.

No se observó diferencia con respecto al porcentaje de secuencias encontradas de los tres phyla dominantes, en cada una de las lagunas, entre los muestreos realizados en junio y septiembre.

En la laguna de tratamiento anaeróbico, tanto en los muestreos de junio como septiembre, dentro del phylum *Firmicutes*, la mayoría de las secuencias pertenecían a la clase *Clostridia* (26,4 y 23,1 %, respectivamente). Con respecto al dominio *Archaea*, la clase *Methanomicrobia* se encontró en mayor proporción (0,7 y 1,7 %).

En la laguna de tratamiento aeróbico, tanto en los muestreos de junio como septiembre, la mayoría de las secuencias pertenecían al phylum *Bacteroidetes*, clase *Flavobacterias* (21,9 y 11,0 %, respectivamente) y dentro del phylum *Proteobacterias*, la mayoría pertenecían a la clase *Betaproteobacteria* (27 y 24,8 %) (Datos no mostrados)

De esta manera, se logró caracterizar microbiológicamente el lixiviado, corroborando la presencia de los grupos bacterianos que participan en el proceso de degradación del mismo. Se trata del primer informe acerca de la microbiota del lixiviado del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe.

### Estudio de microorganismos de interés en biotecnología ambiental

Los residuos plásticos se acumulan masivamente y son de difícil degradación, por lo que representan un problema importante para el medio ambiente. Una de las posibles vías de minimización, ya sea antes o después de su disposición en rellenos sanitarios, consiste en la biodegradación de estos residuos. Esta solución contribuiría a reducir el volumen total de residuos sólidos dispuestos, lo que aumentaría la vida útil del relleno sanitario donde se disponen los mismos. En trabajos previos realizados por el grupo de investigación, se aisló una bacteria del suelo del relleno sanitario, la cual presentó actividad degradativa sobre el polipropileno biorientado.

Para el estudio de su actividad degradativa se desarrolló un método gravimétrico cuantitativo y se evaluó la pérdida de peso del BOPP incubado con dicha cepa, a los 30, 90 y 120 días. Se analizaron los cambios estructurales de la superficie del material tratado, por microscopía electrónica de barrido (SEM) y espectrometría de reflexión total atenuada (FTIR-ATR). La mayor pérdida de peso de la película de BOPP tratada con la cepa aislada, se obtuvo a los 30 días de incubación. Los espectros obtenidos para las muestras luego de los distintos tratamientos presentaron variaciones con respecto al espectro de la muestra original. La superficie de las láminas expuestas al microorganismo resultó con daños, observándose la formación de perforaciones y grietas en el material. Se logró identificar el gen codificante de la enzima AlkB en la cepa aislada, sugiriendo la participación de esta enzima en el proceso de biodegradación de este material (Battagliotti *et al.*, 2015; Latorre Rapela *et al.*, 2017; Argaraña *et al.*, 2018; Argaraña, 2018; Monmany-Garzia *et al.*, 2020).

Otro grupo de microorganismos presentes en aguas residuales y efluentes de diferentes procedencias son las microalgas. Se han descrito procesos de tratamiento de efluentes basados en la capacidad que presentan estos microorganismos de metabolizar algunos nutrientes y por la tolerancia relativamente

alta, en muchos de los géneros, a la presencia de compuestos tóxicos. Varios géneros de estos microorganismos han sido identificados en muestras colectadas de lagunas de tratamientos de aguas residuales (Abdel-Raouf *et al.*, 2012), entre ellos *Chlorella*, *Scenedesmus*, *Euglena*, *Chlamydomonas*, *Nitzschia*, reconocidos ampliamente como promisorias fuentes de aceite para la obtención de biodiésel (Barbosa y Wijffels, 2013). En nuestro país se incentiva la producción de biocombustibles como el biodiésel (ley 26093), por ejemplo, a través de beneficios impositivos y asignación de recursos presupuestarios. Actualmente, la producción mundial de biodiésel deriva fundamentalmente de aceites vegetales (como soja, colza, etc.), (en relación con este tópico, puede verse un análisis más detallado en el capítulo Energías Renovables). Para que la tecnología que emplea aceites microalgales sea una alternativa económicamente viable, con posibilidad de competir con el combustible equivalente obtenido desde el petróleo (diésel), resulta crucial seleccionar aislamientos locales, adaptados a las condiciones climáticas prevalentes en la zona geográfica en la que se plantea la producción. También es fundamental la intensificación de los procesos de producción con la optimización particular de los diferentes parámetros del cultivo, ya que la acumulación de lípidos en las microalgas depende directamente de las condiciones de crecimiento (Rodolfi *et al.*, 2009).

A partir de muestras del líquido lixiviado proveniente de las lagunas de tratamiento (aeróbica y anaeróbica) del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe, se obtuvieron 84 aislamientos de microalgas (Clebot *et al.*, 2018). Con el fin de seleccionar las microalgas oleaginosas más promisorias, se analizó su productividad específica de aceites, en condiciones de cultivo autotrófico y estándar. Esta evaluación, permitió seleccionar una única cepa, la más productora entre todos los aislamientos (Clebot *et al.*, 2019). Paralelamente, se desarrolló una estrategia para acondicionar el lixiviado y obtener medios de cultivo conteniéndolo en diferentes proporciones. En cultivos mixotróficos realizados empleando estos medios, se estableció la factibilidad de emplear hasta un 10 % del lixiviado para soportar el desarrollo de diversas cepas microalgales. Actualmente, se trabaja en la caracterización de la cinética de proliferación y producción de aceite en cultivos de la microalga seleccionada en un medio formulado con el lixiviado. Esta caracterización incluirá además cultivos en fotobiorreactores, en los que se analizará la evolución de la carga orgánica, compuestos nitrogenados ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) y fósforo, con el fin de evaluar la capacidad de las microalgas en la reducción de estos contaminantes. De este modo, se propone el aprovechamiento y valorización de un efluente, que puede redundar además en la disminución de los costos en la producción de esa biomasa.

## Remediación: uso de microorganismos para optimizar la eficiencia del tratamiento de líquidos lixiviados de RSU

Si bien se sabe que la eficiencia de remoción de contaminantes del tratamiento biológico de los lixiviados se encuentra íntimamente relacionada con el ensamble de microorganismos presente en la matriz del líquido a tratar, poco se conoce acerca de la identidad de estas taxa y de su relación con las variables fisicoquímicas que determinan la calidad del efluente de salida y, por lo tanto, de la eficiencia del tratamiento. En los últimos años, se caracterizaron fisicoquímicamente las lagunas de tratamiento anaeróbico y aeróbico de líquidos lixiviados provenientes del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe, incluyendo análisis de DBO, DQO, compuestos nitrogenados, fósforo y un *screening* de metales, plaguicidas e hidrocarburos en muestreos estacionales. También se registraron en las lagunas de tratamiento aeróbico diferentes taxa de microorganismos, con predominancia del Phylum Euglenozoa, Amoebozoa, Cryptista, Ciliophora, Rotifera, entre otros.

Además, se evaluó el efecto ecotoxicológico de estos líquidos lixiviados, con el objetivo de conocer la toxicidad de los mismos en períodos de altas y bajas precipitaciones y temperatura ambiental, imprescindible para impulsar la revisión de los niveles de vuelco reglamentados en la normativa provincial. Se caracterizó física y químicamente el lixiviado recolectado de la laguna de tratamiento aeróbica y se estudiaron efectos agudos (Concentración efectiva 50 –CE<sub>50</sub> 48 h–, USEPA) y crónicos (15 días: sobrevivencia, fecundidad y crecimiento), empleando como organismos tests a *Daphnia magna* y *Ceriodaphnia dubia*. A su vez, se calculó la inhibición del crecimiento algal (CE<sub>50</sub> 72 h, OECD), la tasa de crecimiento ( $\mu$ ) y el biovolumen ( $\mu\text{m}^3\text{L}^{-1}$ ) (Especie test: *Chlorella vulgaris*). Se pudo observar que las menores diluciones (D) estimularon el crecimiento de las microalgas, mientras que las  $\geq 10\%$  lo inhibieron (CE<sub>50</sub> 10 %). La densidad celular y  $\mu$  de *C. vulgaris* fue superior en D 5 % respecto al control (medio de cultivo sin lixiviados). Además, en esta dilución el biovolumen de las microalgas superó al control 1,27 veces. La CE de lixiviados que produjo la mortalidad del 50 % de las poblaciones de cladóceros ensayadas fue 21,6 % para *C. dubia* y 24,7 % para *D. magna*. En ensayos crónicos, la sobrevivencia de *C. dubia* fue 71 % en las diluciones menores (D1–2,5 % y D2–5 %), y superior (97 %) en el control y en D3 (10 %). El número de neonatos fue mayor en las tres diluciones respecto al control, aunque no se observaron diferencias significativas ( $p > 0.05$ ). En D2 (5 %) se obtuvo el máximo número de neonatos y se redujo la edad de la primera reproducción. En D3 (10 %) se registró el mayor promedio de mudas (7,4), similar al control

(7,2). El 91 , 94 y 83 % de la población de *D. magna* sobrevivió cuando fue expuesta a tres diluciones del efluente (D1 [3,75 %], D2 [7,5 %] y D3 [15 %]). El número de neonatos fue superior al control en D2 (7,5 %) ( $p > 0.05$ ). Las diluciones de lixiviado no mostraron efectos en la sobrevivencia, fecundidad y edad de la primera reproducción de *D. magna* ( $p > 0,05$ ), aunque si en el crecimiento ( $p = 0,0036$ ). Estos resultados brindan información sobre la caracterización fisicoquímica y toxicidad de lixiviados de RSU y su posible impacto en sistemas acuáticos (Regaldo *et al.*, 2020).

A su vez, se estudió la posible influencia del vuelco de lixiviados, en el tramo medio del río Salado. Se empleó a la comunidad fito y zooplanctónica como indicadora de la calidad del agua y sedimentos. Se realizaron muestreos estacionales en tres sitios: aguas arriba (AAR), abajo (AAB) y en el punto de vuelco (PV). Se midieron variables fisicoquímicas *in situ* y en laboratorio. Se determinaron las concentraciones de nutrientes, metales (Cr, Pb, Cd, Hg, Ni y Cu), plaguicidas e hidrocarburos en agua y sedimentos. Se tomaron muestras de fito y zooplancton para análisis cuali y cuantitativo. Se analizó la vinculación espacial entre las concentraciones de xenobióticos registradas en agua y sedimentos con cambios estructurales en las comunidades planctónicas. El microzooplancton (rotíferos y larvas nauplios) fue dominante. El sitio AAR de la descarga de lixiviados mostró deterioro de calidad ambiental, demostrando la necesidad de investigar otras posibles fuentes de contaminantes. Este aporte brinda información relevante sobre la calidad del agua y sedimentos del río Salado, en sitios de descarga de lixiviados de RSU, empleando como indicadores comunidades claves para el mantenimiento de la salud ecosistémica.

Actualmente se está experimentando a escala de laboratorio el potencial de las microalgas para la bioprospección y biorremediación de contaminantes que contienen los lixiviados. Con el conocimiento generado interdisciplinariamente mediante estos ensayos y su posible escalamiento en planta, se espera aportar a la optimización del proceso de remediación de líquidos lixiviados.

## Referencias bibliográficas del capítulo 7

- Abdel-Raouf, N.; Al-Homaidanb, A. & Ibraheemb, I. (2012). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 19(3), 257–275.
- Aguirre-Sierra, A. (2017). *Integrating microbial electrochemical systems in constructed wetlands, a new paradigm for treating wastewater in small communities* (tesis inédita de doctorado). Universidad de Alcalá.

- Aimaretti, N. R. (2011). *Desarrollo de un proceso sostenible para la producción de bioetanol a partir de desechos agroindustriales* (tesis inédita de doctorado). Ciencias Químicas.
- Argarana, M. F. (2018). Bacterias que degradan materiales plásticos aisladas de suelo de relleno sanitario. En *Simposio Ecología de residuos plásticos: ¿qué estudiamos en Argentina?, XXVIII Reunión Argentina de Ecología*. Mar del Plata, Buenos Aires, Argentina.
- Argarana, M. F.; Battagliotti, J. M. (...) Latorre Rapela, M. G. (2018). Primer reporte sobre el aislamiento de una cepa de *Pseudomonas aeruginosa* autoctona de la ciudad de Santa Fe, con capacidad de biodegradar polipropileno biorientado. En *IV Congreso Argentino de Microbiología Agrícola y Ambiental. I Jornada de Microbiología General*. Asociación Argentina de Microbiología. Mar del Plata. Argentina
- Argarana, M. F.; Zurbriggen, A. (...) Latorre Rapela, M. G. (2019). Caracterización y cuantificación microbiológica del lixiviado y de las lagunas de tratamiento del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe. En *5º Congreso Bioquímico del Litoral*. Santa Fe. Argentina.
- Barbosa, M. & Wijffels, R. (2013). Biofuels From Microalgae. En Richmond, A. & Hu, Q. (Eds.). *Handbook of Microalgal Culture. Applied Phycology and Biotechnology* (pp. 566–578). John Wiley & Sons, Ltd.
- Battagliotti, J. M.; Argarana, M. F. & Latorre Rapela, M. G. (2015). Estudio de la capacidad degradativa sobre polipropileno biorientado (BOPP) de microorganismos nativos de suelo de depósitos de residuos urbanos. En *III Congreso Bioquímico del Litoral. XVI Jornadas Argentinas de Microbiología*. Organizado por la Asociación Argentina de Microbiología Filial Santa Fe y Colegio de Bioquímicos. Santa Fe.
- Carrizo, M. E.; Masola, M. J. (...) Imhoff, S. (2019). *Emisión de óxido nitroso del suelo por la aplicación de residuos de barridos de corrales bovinos en Argentina*. En SLCS (Comps.). *XXII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. Organizado por la Sociedad Latinoamericana de Ciencia del Suelo.
- De Piante Vicin, C.; Humpola, P. (...) Giraldo Gutiérrez, L. (2018). Preparación, caracterización y estudios texturales de carbones activados obtenidos a partir de Yerba Mate y su utilización para la remoción de Fenol y Cr (III) en solución acuosa. *Afinidad*, 75(582), 106–111. Asociación de Químicos e Ingenieros del Instituto Químico de Sarria. España.
- Clebot, A.; Beccaria, A. (...) Márquez, V. (2018). Bioprospección de cepas de microalgas de interés biotecnológico en lagunas de tratamiento del lixiviado proveniente del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe. En *IV Congreso de Microbiología Agrícola y Ambiental*, Mar del Plata, Argentina.
- Clebot, A.; Irigoyen, M. (...) Beccaria, A. (2019). Bioprospección de microalgas de interés biotecnológico en un complejo ambiental. Selección de cepas oleaginosas con potencial aplicación en la síntesis de biodiésel. En *1er. Congreso Iberoamericano de Ingeniería Química*, Santander, España.
- Clementz, A. L.; Aimaretti, N. R. (...) Yori, J. C. (2015). *Int. J. Energy Environ. Eng.*, 6, 129–135.
- Clementz, A. L. (2017). Revalorización de descartes agroindustriales. Desarrollo de nuevos biocatalizadores inmovilizados para reacciones de interés industrial (tesis inédita de doctorado). Ingeniería en Alimentos.
- Consejo Nacional de Coordinación de Políticas Sociales (2018). *Objetivos del Desarrollo Sostenible. Informe país 2018*. <https://www.argentina.gov.ar/sites/default/files/informe-ods-todo.pdf>



- Dekker, R.; Fleischmann, M. (...) Van Wassenhove, L. (2004). *Reverse Logistics Quantitative models for closed-loop supply chains*. Springer Verlag.
- Doherty, L.; Zhao, Y. (...) Liu, R. (2015). A review of a recently emerged technology: Constructed wetland – Microbial fuel cells. *Water Research*, 85, 38–45.
- FAO (2008). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: Código internacional de conducta sobre la distribución y utilización de plaguicidas. Directrices sobre opciones de manejo de envases vacíos de plaguicidas, Roma. [http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests\\_Pesticides/Code/Containers08SP.pdf](http://www.fao.org/fileadmin/templates/agphome/documents/Pests_Pesticides/Code/Containers08SP.pdf)
- FAO (2016). *Núcleo de Base de Datos principal de AQUASTAT*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
- Gambaudo, S.; Imhoff, S. (...) Racca, S. (2014). Uso de efluentes líquidos de tambo para mejorar la productividad de cultivos anuales y la fertilidad del suelo. *Ciencia del Suelo*, 32, 197–208.
- Gaviola, J. C. (2013). *Manual de producción de zanahoria*. INTA, Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, Presidencia de la Nación.
- Ghiberto, P.; Imhoff, S. (...) Heymo, A. (2020). Soil chemical changes and nutrient leaching losses following application of a farm–dairy effluent. *Agrochimica*, 64(4), 331–346.
- Giraldo, L.; Moreno Pirajan, C. (...) Odetti, H. (2018). Water Depollution Using Activated Carbons from Aerogels and Bones. En *Green Adsorbents for Pollutant Removal* (pp. 183–226). Springer Nature.
- Guide, V. D. R. & Van Wassenhove, L. N. (2009). The Evolution of Closed–Loop Supply Chain Research. *Operations Research*, 57(1), 10–18.
- Humpola, P.; Odetti, H. (...) Giraldo, L. (2016). Activated carbons obtained from agro–industrial waste: textural analysis and adsorption environmental pollutants. *Adsorption*, 22 (1), 23–31.
- Imhoff, S.; Nicolier, J. (...) Benzi, G. (2018a). Corn yield achieved through the application of pig treated liquid–waste in Argentina. En *Workshop Soil–Waste–Water*. Organizado por la German Soil Science Society.
- Imhoff, S.; Nicolier, J. (...) Ghiberto, P. (2018b). Corn biomass response to the application of swine treated liquid–waste by irrigation and injection systems in Argiudolls of Argentina En: *Workshop Soil–Waste–Water*. Organizado por la German Soil Science Society.
- Imhoff, S.; Carrizo, M. E. (...) Zen, O. (2014). Efluentes líquidos de tambo: efectos de su aplicación sobre las propiedades físicas de un Argiudol. *Ciencia del Suelo*, 32, 177–187.
- Latorre Rapela, M. G.; Argarana, M. F. (...) Lura, M. C. (2017). Detección del gen *alkB* en una cepa de *Pseudomonas aeruginosa* con actividad degradativa sobre polipropileno biorientado aislada del relleno sanitario de la ciudad de Santa Fe. En *4º Congreso Bioquímico del Litoral. III Congreso Bioquímico del NEA*, Colegio de Bioquímicos de Entre Ríos y Colegio de Bioquímicos de Santa Fe. Entre Ríos. Argentina.
- Lopez, A.; Coll, A. (...) Zalazar, C. (2018) Advanced oxidation of commercial herbicides mixture: experimental design and phytotoxicity evaluation. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 21393–21402.
- Melnik, S. A.; Narasimhana, R. & De Campos, H. A. (2014). Supply chain design: issues, challenges, frameworks and solutions. *International Journal of Production Research*, 52 (7), 1887–1896.

- Monmany–Garzia, A. C.; Malizia, A. (...) De Cristobal, R. E. (2020). ¿Qué estudiamos los ecólogos cuando investigamos los residuos plásticos en ambientes terrestres y dulceacuícolas de Argentina? *Ecología Austral*.
- Morero, B.; Montagna, A. (...) Cafaro, D. C. (2020). Optimal process design for integrated municipal waste management with energy recovery in Argentina. *Renewable Energy*, 146, 2626–2636.
- Nicolier, J.; Zuber, S. (...) Imhoff, S. (2017). Impacto de diferentes sistemas de aplicación y dosis de efluentes de cerdos sobre el rendimiento del cultivo de maíz (*Zea mays* L.). En SACyT (Comps.). *Actas del III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología Ambiental*. Organizado por la Sociedad Argentina de Ciencia y Tecnología Ambiental.
- Organización Mundial de la Salud (2019). *Agua. Nota descriptiva*. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs391/es/>
- Peretti, R. M.; Forni, M. (...) Ghiberto, P. (2018). Aplicación de efluentes de tambo como alternativa de fertilización, flujo de agua y lixiviación de nitratos. En AACs (Comps.). *Actas del XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Organizado por la Sociedad Argentina de Ciencia del Suelo.
- P20130104405 (INPI). Proceso para la obtención de bioetanol y carotenos a partir de zanahorias de descarte.
- P20140104127 (INPI). Proceso de extracción de subproductos a partir de zanahoria.
- Provincia de Santa Fe. Ministerio de Ambiente y Cambio Climático (2009). Ley Provincial 13055/2009. *Concepto de «Basura Cero» para la gestión de los residuos sólidos urbanos*. <https://www.santafe.gov.ar/index.php/web/content/view/full/124257>
- Provincia de Santa Fe. Ministerio de Ambiente y Cambio Climático (2009). Resolución 0023/09. *Establecimientos dedicados al engorde intensivo de ganado bovino a corral*. <http://www.santafe.gov.ar/index.php/content/view/full/73194/>
- Rabaey, K. & Verstraete, W. (2005). Microbial fuel cell: novel biotechnology for energy generation. *Trends in Biotechnology*, 23(6), 291–298.
- Regaldo, L.; Reno, U. (...) Gagneten, A. M. (2020). Multifunctional approach to evaluate the efficiency of landfill leachate treatments. In Shah, M. P. (Ed.). *Removal of Toxic Pollutants through Microbiological & Tertiary Treatment, New Perspective*. Elsevier.
- Rodolfi, L.; Chini Zittelli, G. (...) Tredici, M. (2009). Microalgae for oil: strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. *Biotechnology and Bioengineering*, 102, 100–112.
- Salazar Hoyos, L.; Faroldi, B. & Cornaglia, L. (2018). Reactivity of rice husk-derived lithium silicates followed by in situ Raman spectroscopy. *Journal of Alloys and Compounds*, 778, 699–711.
- Salazar Hoyos, L.; Faroldi, B. & Cornaglia, L. (2020). A novel coke-resistant catalyst for the dry reforming of methane based on Ni nanoparticles confined within rice husk-derived mesoporous materials. *Catalysis Communications*, 135, 105898–105903.
- Sarkar, S.; Tribedi, P. (...) Kumar Sil, A. (2016). Sequential changes of microbial community composition during biological wastewater treatment in single unit waste stabilization system. *Waste and Biomass Valorization*, 7(3), 483–493.

- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable Presidencia de la Nación (2017). Informe del estado del ambiente 2017. <https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/informedelambiente2017.pdf>
- SENASA (2013). Dirección de Control de Gestión y Programas Especiales – Dirección Nacional de Sanidad Animal. *Establecimientos de engorde a corral*.
- Vidal, E. (2014). Gestión de envases de agroquímicos. Descontaminación de efluentes provenientes de plantas de reciclado de envases que contienen glifosato con la tecnología avanzada de oxidación que emplea UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (tesis inédita de maestría). Magister en Gestión Ambiental de la FICH, UNL. <http://hdl.handle.net/11185/655>
- Vidal, E.; Negro, A. (...) Zalazar, C. (2015). Simplified reaction kinetics, models and experiments for glyphosate degradation in water by the UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> process. *Photochemical and Photobiological Sciences*, 14, 366–377

**UNIVERSIDAD  
NACIONAL DEL LITORAL**