

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

Versión preliminar

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

Secretaria de Ciencia,
Arte y Tecnología

Ana María Canal



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 Sadrán

Coordinación diseño

Alina Hill

Coordinación comercial

José Díaz

Diagramación interior y tapa

Verónica Rainaudó

© Ediciones UNL, 2021.

—

Sugerencias y comentarios

editorial@unl.edu.ar

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

Rodriguez, 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

Índice

Prólogo

Enrique Mammarella / 9

Introducción / 11

Referencias bibliográficas de la introducción / **13**

CAPÍTULO 1. Energías renovables–biorrefinerías / 14

Introducción / **14**

Herramientas biológicas y moleculares para estrategias de biorrefinerías / **17**

Investigación y desarrollo de procesos de producción de biodiesel

y aprovechamiento de subproductos del proceso / **27**

Generación de productos sustitutos de hidrocarburos

a partir de biomasa lignocelulósica residual / **31**

Hidrógeno como vector de energía. Producción

a partir de materias primas renovables de la región / **34**

Referencias bibliográficas del capítulo 1 / **37**

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

ionios. 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–acuífero 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 / 176

Introducción / **176**

Contaminantes ambientales en la provincia de Santa Fe y salud humana / **179**

Efecto del glifosato y sus formulados comerciales sobre el desarrollo de órganos reproductores y la fertilidad / **184**

Impactos de la agroindustria sobre la salud ambiental de los anfibios del centro este de Argentina en el contexto del desarrollo sustentable / **187**

Estrógenos ambientales y desarrollo y diferenciación mamaria / **191**

Contaminantes Ambientales Hormonalmente Activos. Efectos en el Sistema Reprodutor del Yacaré Overo (*Caiman latirostris*) / **194**

Efectos del ambiente sobre la salud humana y animal / **199**

Efectos del ambiente físico sobre la producción animal / **202**

Derecho Ambiental en la provincia de Santa Fe / **206**

Referencias bibliográficas del capítulo 5 / **212**

CAPÍTULO 6. Biodiversidad y desarrollo sustentable / 224

- Biodiversidad: concepto, funciones, importancia y amenazas / **224**
- Diversidad de insectos de ambientes ruderales / **231**
- Diversidad de fitoplancton / **234**
- Diversidad de zooplancton y su valor como bioindicador / **238**
- Diversidad de peces e interacciones / **243**
- Diversidad de anfibios / **249**
- Diversidad de reptiles, aves y mamíferos / **256**
- Gestión de áreas naturales en el centro norte de la provincia de Santa Fe / **261**
- Diversidad genética de especies faunísticas / **263**
- Recomendaciones / **266**
- Referencias bibliográficas del capítulo 6 / **268**
- Autoras y autores de este capítulo / **280**

CAPÍTULO 7. Ciclo de vida de productos: tecnología para la gestión y el reciclado de diversos residuos / 281

- Introducción / **281**
- Valorización de residuos agroindustriales para la obtención de productos sustentables / **283**
- Tratamiento de residuos pecuarios y residuos sólidos urbanos en el centro norte de la provincia de Santa Fe / **292**
- Gestión integral de envases de agroquímicos / **298**
- Tratamiento de efluentes líquidos en áreas urbanas.
- Uso de microorganismos de interés biotecnológico / **304**
- Referencias bibliográficas del capítulo 7 / **313**

Prólogo

*Enrique Mammarella*¹

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 Rodríguez¹ y Leticia Rodríguez²

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

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

2 Facultad de Ingeniería y Ciencias Hídricas, UNL.

está logrando seguirle el ritmo a la Agenda para cumplir con sus ambiciones. Sirvan algunos ejemplos para dar cuenta de esta situación. Respecto 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

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>.

Naciones Unidas (2018). Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Recuperado de <https://unstats.un.org/sdgs/files/report/2018/TheSustainableDevelopmentGoalsReport2018-En.pdf>.

Novo, M. y Angeles Murga, M. (2010). Educación ambiental y ciudadanía planetaria. *Revista Eureka*, 7 (Nº Extraordinario).

- 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 Zalazar¹⁰ y Gabriela Henning¹¹

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 éste 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 a la legislación vigente no es posible trasladar más de 6 m³ 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.