

El Agro y el Ambiente: Políticas y Estrategias

Ernesto F. Viglizzo y Roberto R. Casas
Editores



**Publicación de la Academia Nacional de Agronomía
y Veterinaria de la República Argentina**



ACADEMA NACIONAL DE
AGRONOMÍA Y VETERINARIA

El Agro y el Ambiente: Políticas y Estrategias

Viglizzo, Ernesto F.

El agro y el ambiente : políticas y estrategias / Ernesto F. Viglizzo ; Roberto R. Casas. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Prosa Ediciones, 2023.
306 p. ; 21 x 15 cm.

ISBN 978-631-90068-7-2

1. Agricultura. 2. Medio Ambiente. 3. Agronomía. I. Casas, Roberto R. II.
Título
CDD 344.0957

PROSA Ediciones, 2023

Paraná 26 Piso 1 - Dpto C. - C.A.Bs.As.

Tel.: 4312-7381

Impreso en Argentina, agosto de 2023,
en PROSA Ediciones
info@prosaeditores.com.ar

ISBN Nro: 978-631-90068-7-2

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Reservados todos los derechos. Prohibida su reproducción total o
parcial por cualquier medio o procedimiento sin permiso escrito del
autor.

El Agro y el Ambiente: Políticas y Estrategias

Ernesto F. Viglizzo & Roberto R. Casas
Editores

**Publicación de la Academia Nacional de Agronomía
y Veterinaria de la República Argentina**



**ACADEMA NACIONAL DE
AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

Índice

Prólogo

Jorge Errecalde[9](#)

Prólogo

Victor Sadras[13](#)

Palabras iniciales

Ernesto F. Viglizzo y Roberto R. Casas[17](#)

Índice de autores.....[21](#)

Resumen para Decisores

Ernesto F. Viglizzo y Roberto R. Casas[25](#)

Capítulo 1

Desafíos de la agricultura global y argentina

Fernando H. Andrade[61](#)

Capítulo 2

Conservación de suelos: hacia la implementación de modelos de intensificación agropecuaria sustentable

Roberto R. Casas.....[85](#)

Capítulo 3

El agua y la agricultura en Argentina: Identificando rumbos más productivos y sustentables

Esteban G. Jobbágy[103](#)

Capítulo 4

Captura y almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo

Miguel A. Taboada[127](#)

Capítulo 5

La economía del carbono en el sector rural argentino

Ernesto F. Viglizzo.....[149](#)

Capítulo 6

Gestión de excedentes y déficits de nutrientes en sistemas de producción

Nora Kugler, Marianela Diez, Mirian Barraco y
Roberto R. Casas.....[163](#)

Capítulo 7

Gestión de fitosanitarios en sistemas agrícolas

Jorgelina C. Montoya y Luis Carrancio[179](#)

Capítulo 8

Gestión de bosques nativos con ganadería y manejo del fuego: desafíos y oportunidades

Gabriel Vázquez Amábile, Alejandro Radrizzani,
Pablo Peri y Eugenia Magnasco[205](#)

Capítulo 9

Conservación de la biodiversidad: el problema, las implicancias, las posibles estrategias y su relación con los sistemas agrícolas

Jorge V. Crisci, Claudio Bertonatti y Liliana Katinas[231](#)

Capítulo 10

Agricultura y provisión de servicios ecosistémicos

Martín Oesterheld y María Semmartin.....[255](#)

Capítulo 11

Huellas, balances y estrategias ambientales en el agro

Ernesto F. Viglizzo.....[271](#)

Capítulo 12

Integración de la problemática ambiental a la producción agropecuaria Argentina

Emilio H. Satorre[287](#)

Prólogo

El rol de la ANAV en la sociedad del conocimiento

Hay que remontarse al año 388 a.C. en la Grecia clásica, y posteriormente al Renacimiento italiano, para conocer los orígenes de las Academias. Frente a la acumulación de descubrimientos científicos en el siglo XVII, surgieron en Roma, Florencia, Londres, París, Madrid y Sevilla centros independientes de las universidades que se denominaron academias y sociedades científicas. La primera academia científica, conocida como Academia de los Linceos, se fundó en Roma en 1603 por iniciativa de tres naturalistas y un médico. Estas organizaciones funcionaron al principio en base a reuniones informales de pensadores que debatían problemas relativos a su profesión. En 1662 fue fundada y reconocida oficialmente la Royal Society de Londres, que tuvo una orientación empírica hacia las aplicaciones de la ciencia, y en 1666 nació en París la Real Academia de Ciencias, que adoptó una orientación cartesiana en el debate del conocimiento científico. Tales organizaciones aspiraron a ser centros de intercambio y discusión de información y de ideas.

Pero el rol de las Academias mutó con el tiempo. Hoy les toca jugar un papel clave en el debate de cuestiones éticas y morales que surgen en una frontera siempre cambiante de la ciencia y la

tecnología. Su imperativo es esclarecer cuestiones clave dentro de un marco verificable de ciencia seria. Su imperativo es aportar racionalidad, independencia y rigor a los debates que permean en la sociedad, apartándose de los dogmas, los sesgos o los intereses sectoriales. De ahí que la esencia de las Academias sea preservar la autonomía y la independencia respecto de las ideologías, la política y los gobiernos, aportando opiniones y estudios que sirvan a toda la sociedad, por fuera del interés de las administraciones de turno. Con el fin de tener una visión integral y ecléctica sobre asuntos críticos surgió la necesidad de promover encuentros inter-académicos que, apoyados en la mejor ciencia disponible, identifiquen y debatan cuestiones prioritarias para la sociedad, como la pobreza, la inseguridad, la educación, el consumo exacerbado, el cambio tecnológico y, últimamente, las problemáticas del cambio climático y la degradación ambiental.

Frente a los enormes desafíos de la cultura, la economía y la ética en la sociedad moderna, es claro que el papel de las Academias en el siglo XXI es diferente al que tenía en sus tiempos fundacionales. El cambio de roles surgió en respuesta a la acelerada evolución del conocimiento científico, la moral y el cambio social de los países. Es importante señalar que en las Academias científicas no se investiga, no se mide ni se experimenta, sino que se debaten ideas y se transmiten saberes tendiendo puentes entre el conocimiento científico y la sociedad que lo demanda. Este cambio de roles implicó un rediseño de sus objetivos y acciones, entre los cuales surge la necesidad informar a los gobiernos y centros de decisión públicos y privados sobre algunas cuestiones que sean motivo de consulta, o sobre aquellas otras que, dada su relevancia social, sean planteadas como propuestas emergentes de la propia Academia.

Conscientes de este rol, en esta oportunidad la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria tomó la iniciativa de proponer ideas y acciones para abordar una parte de la compleja problemática ecológica y ambiental, y es aquella referida a la relación entre

estas dos ciencias y la producción del agro argentino. Esta es la razón que fundamenta la edición de esta obra que titulamos “El Agro y el Ambiente: Políticas y Estrategias”.

Consta de capítulos cortos de fácil lectura y comprensión cuyos objetivos son, primero, identificar las problemáticas ambientales críticas relativas a la temática del capítulo; segundo, analizar sus implicancias en función del conocimiento científico disponible y actualizado, y tercero, recomendar políticas, estrategias y acciones específicas destinadas a prevenir o enmendar los problemas ecológicos y ambientales previamente identificados y caracterizados. Con este fin han sido convocados un puñado de reconocidos científicos argentinos miembros de nuestra Academia y otros invitados para la colaborar en esta propuesta.

Es menester aclarar que no se trata de una obra científica. Apoyada sí en la mejor ciencia disponible, se trata de una obra destinada a identificar prioridades y acciones que sirvan al diseño de políticas y estrategias ambientales para el país dentro de un marco de racionalidad e independencia conceptual. Idealmente, sus destinatarios serán los gobiernos, las organizaciones políticas, las organizaciones no gubernamentales y las entidades privadas vinculadas al sector agropecuario, a la agro-industria y al agro-negocio nacional. Esperamos que esta obra cumpla su fin.

Desde la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria agradecemos de antemano, y apelamos a la generosidad de los destinatarios de este trabajo, para tomar en cuenta los principios que lo motivaron y que justifiquen nuestro rol en la sociedad.

Dr. Jorge Errecalde

Presidente de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria

Prólogo

Los desafíos de la agricultura dependen del sector y del sistema de producción, y de las escalas espaciales y temporales.

Existe un consenso en el ámbito académico global sobre la necesidad de reducir insumos en sistemas de producción agrícola y esta perspectiva tiene influencia política; pero la generalización no es justificada. Un estudio con foco en sector, que amalgama datos a través de países, demuestra una correlación entre los balances de nitrógeno y fósforo en el suelo y la rentabilidad del sector (Jobbágy and Sala, 2014). Sectores de alta rentabilidad, como el hortícola, tienden a utilizar exceso de fertilizante mientras que sectores de menor rentabilidad tienden a un balance de nutrientes negativo. Un estudio complementario, con foco en países analizando datos a través de sectores, revela el contraste entre agriculturas frugales con bajo uso de insumos y agriculturas opulentas con alto uso de insumos (Novelli *et al.*, 2023)2023. La agricultura argentina es frugal en comparación con las agriculturas de EE.UU., Francia y China. Reducir la fertilización se justifica en sistemas de producción de China, por ejemplo, donde la política que persigue autosuficiencia alimentaria ha estimulado el exceso de fertilización con serias consecuencias ambientales. En parte de los sistemas de producción de granos de Argentina, Australia y África, el balance de nutrientes es negativo con el problema ambiental asociado de “minado” de suelos (de Jager *et al.*, 1998; Angus and Grace, 2017). En estos sistemas frugales se necesita más - no menos - input de nutrientes, subrayando la relevancia de la perspectiva local de este libro.

Históricamente a escala global, el crecimiento poblacional y los cambios económicos y políticos que se resumen en este libro han traccionado una demanda creciente y el desafío primario de la agricultura de satisfacer esa demanda en un contexto de deterioro ambiental; este desafío es vigente, y se proyecta que persistirá en las próximas décadas. Dos tendencias demográficas cambian radicalmente la trayectoria histórica de los desafíos de la agricultura a más largo plazo: urbanización (Ritchie and Roser, 2018) y desaceleramiento del crecimiento de la población (Vollset *et al.*, 2020). Las Naciones Unidas estima que las trayectorias de población urbana y rural se han cruzado por primera vez en la historia de la humanidad en 2007. En 2017, la población rural de Argentina era un 8% del total. Se proyecta que la Argentina alcanzaría su máxima población en 2062 y que en 2050, 151 países tendrán una tasa de fertilidad total inferior a la tasa de reemplazo (TFT <2.1) (Vollset *et al.*, 2020). Según un escenario de referencia, 23 países reducirían su población en más de la mitad entre 2017 y 2100. Entre estos países figura España, que en paralelo a su reducción en la población, se proyecta que baje del puesto 13 al 28 en el ranking de economías basado en PBI. Una consecuencia de la caída en la población de numerosos países es que la competencia por talento es intensa, intersectorial y global. Productores de granos en Australia tienen problemas en reclutar personal técnico aún con salarios anuales superiores a AU\$ 100,000.

La combinación de la urbanización y poblaciones decrecientes resulta en menos gente pensando los problemas de la agricultura; este problema es actual y se incrementa con el tiempo. Innovaciones que resultan de observaciones y experiencias directas, como el riego por goteo, son menos probables. Queda por responder en qué medida la contribución desde otros ámbitos, tales como la robótica, puede compensar la erosión intelectual del sector (Sadras and Denison, 2016).

En este contexto de urbanización, erosión intelectual y otras tendencias sociales, un desafío mayúsculo para la agricultura es la pseudociencia. Propuestas de escaso rigor científico afloran en un rango desde lo ingenuo al que intencionalmente busca promover ciertas agendas. Ejemplos incluyen la idea de copiar la naturaleza - según la cual un tambo debería tener un 50% de toros - sin considerar las escalas sobre las cuales opera la selección natural (Denison, 2012); el sesgo en el cálculo de huellas hídricas basado en referencias injustificadas científicamente (Fereres *et al.*, 2017); sistemas de producción donde el manejo de nutrientes viola el principio de conservación de masa (Connor, 2018a; Connor, 2018b).

Esta publicación de la Academia reúne capítulos con diversos enfoques y dos elementos en común: la perspectiva local y el rigor científico esencial para proteger al sector y a la sociedad de riesgosas propuestas pseudocientíficas.

*Victor Sadras
Adelaide, Junio 2023*

Referencias

- Angus, J.F., Grace, P.R., 2017. Nitrogen balance in Australia and nitrogen use efficiency on Australian farms. *Soil Research* 55, 435-450.
- Connor, D.J., 2018a. Land required for legumes restricts the contribution of organic agriculture to global food security. *Outlook on Agriculture* 47, 277-282.
- Connor, D.J., 2018b. Organic agriculture and food security: A decade of unreason finally implodes. *Field Crops Res.* 225, 128-129.

- De Jager, A., Kariuku, I., Matiri, F.M., Odendo, M., Wanyama, J.M., 1998. Monitoring nutrient flows and economic performance in African farming systems (NUTMON) - IV. Linking nutrient balances and economic performance in three districts in Kenya. *Agric. Ecosyst. Environ.* 71, 81-92.
- Denison, R.F., 2012. *Darwinian Agriculture: How Understanding Evolution Can Improve Agriculture*. Princeton University Press, Princeton, NJ.
- Fereres, E., Villalobos, F.J., Orgaz, F., Minguuez, M.I., van Halsema, G., Perry, C.J., 2017. Commentary: On the water footprint as an indicator of water use in food production. *Irr. Sci.* 35, 83-85.
- Jobbágy, E.G., Sala, O.E., 2014. The imprint of crop choice on global nutrient needs. *Environmental Research Letters* 9, 084014.
- Novelli, L.E., Caviglia, O.P., Jobbágy, E.G., Sadras, V.O., 2023. Diversified crop sequences to reduce soil nitrogen mining in agroecosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 341.
- Ritchie, H., Roser, M.U.P.o.a.O.o.R.f.h.o.o.u.O.R., 2018. "Urbanization". Published online at OurWorldInData.org. Retrieved from: '<https://ourworldindata.org/urbanization>' [Online Resource].
- Sadras, V.O., Denison, R.F., 2016. Neither crop genetics nor crop management can be optimised. *Field Crops Res.* 189, 75-83.
- Vollset, S.E., Goren, E., Yuan, C.-W., Cao, J., Smith, A.E., Hsiao, T., Bisignano, C., Azhar, G.S., Castro, E., Chalek, J., Dolgert, A.J., Frank, T., Fukutaki, K., Hay, S.I., Lozano, R., Mokdad, A.H., Nandakumar, V., Pierce, M., Pletcher, M., Robalik, T., Steuben, K.M., Wunrow, H.Y., Zlavog, B.S., Murray, C.J.L., 2020. Fertility, mortality, migration, and population scenarios for 195 countries and territories from 2017 to 2100: a forecasting analysis for the Global Burden of Disease Study. *The Lancet* 396, 1285–1306.

Palabras iniciales

Las tierras cultivadas en el mundo enfrentan el desafío de producir más alimentos y materias primas para una población en continuo crecimiento, a la vez que desarrollar métodos de producción más eficientes y que contemplen muy especialmente la problemática ambiental. Según advierte el Fondo Mundial para la Naturaleza (WWF), la actual sobreexplotación de los recursos naturales está generando un enorme déficit, que conduce a que cada año se consuman un 20 por ciento más de los recursos que se pueden regenerar.

A principios del siglo XX, la población mundial era de 1.650 millones, estimándose que actualmente está cercana a 8000 millones. La población mundial continuará aumentando en las próximas décadas y esto sin dudas tendrá consecuencias sobre el planeta. Estas cifras señalan por un lado, la necesidad continua de aumentar la producción de alimentos en el mundo, lo cual se traduce inevitablemente en la expansión e intensificación de la agricultura mundial. Esta necesidad también supone una amenaza para el funcionamiento de los ecosistemas y la protección de la biodiversidad.

El crecimiento global de las tierras de cultivo se aceleró en las últimas dos décadas, casi duplicando la tasa de expansión anual. Al menos la mitad de las nuevas tierras de cultivo lo han hecho a expensas del reemplazo de bosques y selvas, afectando negativamente el control del clima y la conservación de los suelos y de la biodiversidad. La situación consignada constituye un escenario que claramente colisiona con la Agenda 2030 de las Naciones

Unidas. En efecto, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), apuntan a equilibrar el aumento de la producción agrícola con el mantenimiento de los servicios ecosistémicos, garantizando de esta manera la seguridad alimentaria, la conservación de los suelos, la biodiversidad, el agua dulce y la mitigación del cambio climático.

Más allá de la complejidad de la situación planteada y de las dificultades para resolverlas, la humanidad tiene un desafío trascendente por delante: minimizar el impacto del aumento poblacional y de la creciente demanda de alimentos sobre el ambiente global y el cambio climático. El exponencial crecimiento de la población mundial durante el último siglo nos sitúa en una encrucijada que debemos resolver de la forma más sostenible, tanto para el medio ambiente como para el ser humano.

Se propone la edición de una obra liderada por miembros de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria con el fin de contribuir a la solución práctica de problemas ambientales que afectan al sector rural. No se trata de una actualización bibliográfica, ni de evaluar el “estado del arte” de nuestras disciplinas. Se trata de plantear, con realismo puramente práctico, los problemas que un funcionario que diseña políticas públicas, una entidad empresaria o un empresario individual, deberá resolver ante los desafíos ambientales presentes y futuros. En las diferentes secciones se analizan las implicancias que pueden tener para el país, la comunidad de negocios y la sociedad en su conjunto no abordar adecuadamente cada problemática planteada y se recomiendan estrategias o acciones concretas para acometer esos desafíos.

El libro está dividido en 12 capítulos que analizan temáticas ecológicas y ambientales específicas de alta prioridad. Cada capítulo es liderado por un miembro de la Academia u otra figura reconocida de la ciencia y la tecnología abordando las problemáticas del suelo, el agua, el carbono, la contaminación, los bosques, la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Los capítulos vienen precedidos por un Resumen para Decisores, a cargo de los edito-

res, que procura sintetizar y resaltar cómo cada capítulo contribuye a esclarecer la estratégica relación entre el agro y el ambiente. De esta manera, los lectores podrán identificar los temas de su interés, y profundizarlos mediante la lectura detallada de los capítulos específicos.

La Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria presenta la obra “El Agro y el Ambiente: Políticas y Estrategias” como una contribución a la necesidad de satisfacer las futuras demandas de productos de la agricultura argentina y reducir paralelamente el impacto ambiental de la actividad, asegurando la provisión de servicios ecosistémicos esenciales para la sociedad. Vaya para las Autoridades y miembros de la Academia nuestro reconocimiento y agradecimiento por el decidido apoyo brindado a la realización y publicación de la obra, como así también a los académicos y especialistas invitados por su generosa y calificada participación en la redacción de los distintos capítulos.

Ing. Agr. Ernesto F. Viglizzo

Ing. Agr. Roberto R. Casas

Índice de Autores

Andrade Fernando H. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Unidad Integrada Balcarce.

Email: andrade.fernando1956@gmail.com

Barraco, Mirian. EEA INTA General Villegas; Grupo de Gestión Ambiental en Feedlots (GAF). Email: barraco.miriam@inta.gob.ar

Bertonatti, Claudio. Fundación Azara y Universidad Maimónides, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina.

Email: claudio.bertonatti@fundacionazara.org.ar

Carrancio, Luis. EEA INTA Oliveros.

Email: carrancio.luis@inta.gob.ar

Casas Roberto R. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua (PROSA –FECIC). Email: robertoraulcasas@gmail.com

Crisci Jorge V. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; División Plantas Vasculares, Museo de La Plata, La Plata, Argentina. Email: crisci@fcnym.unlp.edu.ar

Diez, Marianela. EEA INTA General Villegas; Grupo de Gestión Ambiental en Feedlots (GAF). Email: diez.marianela@inta.gob.ar

Errecalde Jorge. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria.
Email: jerrecal@yahoo.com

Jobbágy Esteban G. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Grupo de Estudios Ambientales – IMASL, Universidad Nacional de San Luis y CONICET. Ejército de los Andes 950 (5700) San Luis – Argentina. Email: jobbagy@gmail.com

Katinas, Liliana. División Plantas Vasculares, Museo de La Plata, La Plata, Argentina. Email: katinas@fcnym.unlp.edu.ar

Kugler, Nora. Actividad privada. CREA Región Oeste Arenoso; Grupo de Gestión Ambiental en Feedlots (GAF).
Email: noramkugler@gmail.com

Magnasco Eugenia. Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), Unidad de Investigación y Desarrollo. Email: emagnasco@cra.org.ar

Montoya, Jorgelina C. EEA INTA Anguil “Ing. Agr. Guillermo Covas”. Email: montoya.jorgelina@inta.gob.ar

Oesterheld, Martín. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; ifeva, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires-Conicet. Email: oesterhe@agro.uba.ar

Peri Pablo. INTA, Programa Nacional Forestales.
Email: peri.pablo@inta.gob.ar

Radrizzani Alejandro. INTA - Programa Nacional de Forrajes, Pasturas y Manejos de Pastizales.
Email: radrizzani.alejandro@inta.gob.ar

Sadras, Victor. Ex investigador del CSIRO (Australia). Programa de Ciencias de los Cultivos en el South Australian R&D Institute, Australia. Email: victor.sadras@sa.gov.au

Satorre Emilio H. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía, Departamento de Producción vegetal, Cátedra de Cerealicultura; AACREA, Unidad de Investigación y Desarrollo, Área de Agricultura. Email: satorre@agro.uba.ar

Semmartin, María. Cátedra de Ecología, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires-Conicet.
Email: semmarti@agro.uba.ar

Taboada Miguel A. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía; Carbon Group Agro-Climatic Solutions SRL.
Email: taboada.miguelangel@gmail.com

Vazquez Amábile Gabriel. Universidad Nacional de La Plata, Escuela de Bosques. Posgrado en Manejo Integral de Cuencas Hidrográficas. Email: gvazquez@crea.org.ar

Viglizzo, Ernesto F. Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria; CONICET. Email: eviglizzo@gmail.com

Resumen para Decisores

Ernesto F. Viglizzo y Roberto R. Casas

Introducción

Liderada por miembros de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria de Argentina, y por autores invitados, en esta obra se proponen estrategias para contribuir a la solución práctica de problemas ambientales que, de larga data, afectan al sector rural argentino. Dado que es un rol que compete a las Academias, esperamos que esta obra cumpla su objetivo y estimule acciones similares en otros campos del conocimiento.

No se trata de un trabajo científico convencional, sino de marcar grandes líneas conceptuales que orienten políticas y estrategias ambientales (resaltadas en este Resumen para Decisores) que sirvan tanto a los gobiernos que diseñan políticas públicas como al propio sector productivo de orden privado.

Bajo una mirada integradora, como criterio unificador se propone abordar capítulos cortos de fácil lectura y comprensión. Idealmente, cada capítulo identifica las problemáticas ambientales críticas del tema tratado, analiza sus implicancias en función del conocimiento científico disponible y actualizado, y propone estrategias y políticas específicas para prevenir o enmendar las situaciones más comunes. Desarrollar estas ideas implica abordar problemas tan diversos como los del suelo, el agua, el carbono, las contaminaciones, los bosques, la biodiversidad y los servicios

eco-sistémicos. Cada capítulo puede ser consultado independientemente dentro de esta misma obra.

Con la finalidad de ordenarlos, los problemas ambientales del agro pueden ser localizados sobre tres principales escalas espaciales y temporales: una macro-escala que involucra el contexto global, una meso-escala que se ocupa esencialmente de los grandes agro-ecosistemas, y una micro-escala que aborda las problemáticas prediales.

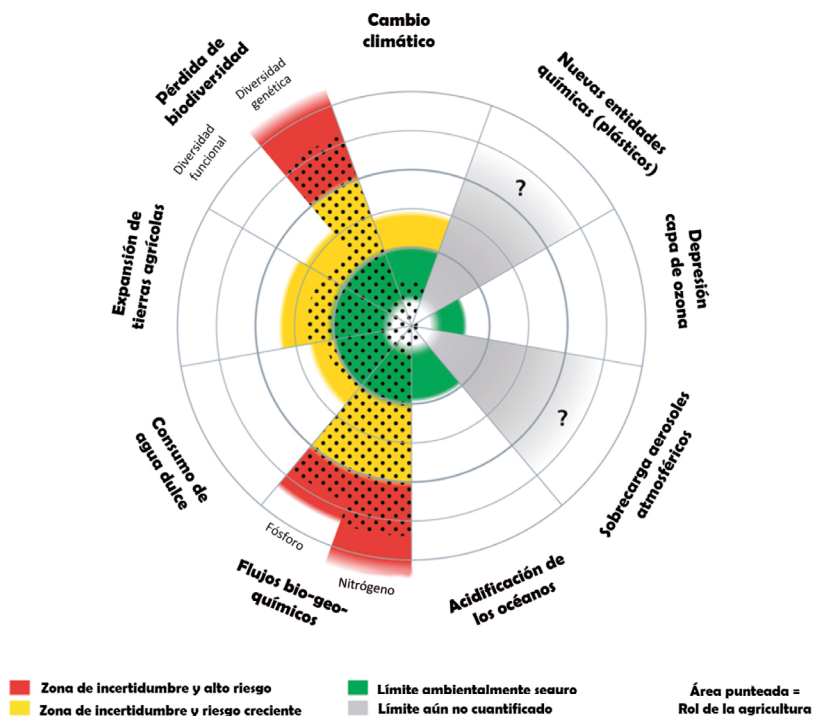
1. Macro-escala: El contexto global y la Argentina

1.1 Los límites planetarios

La humanidad se adentró en lo que hoy denominamos Antropoceno (como parte del Holoceno), una nueva era geológica que tiene una connotación simbólica, y según la cual, las presiones humanas ponen al sistema Tierra en una trayectoria que lo aleja rápidamente del estado estable del Holoceno. El Holoceno abarca los últimos 12.000 años, y es la única era geológica de la cual tenemos evidencia empírica verificada. Estos cambios rápidos que ocurren en el planeta socavan varios sistemas críticos de soporte de la vida (clima, biodiversidad, nutrientes, etc.) con impactos sociales significativos que son detectables y cuantificables. Ellos podrían disparar puntos de inflexión que, en la práctica, implican rebasar algunos límites naturales del planeta y desestabilizar irreversiblemente a la Tierra como sistema.

Asentados en el Centro de Resiliencia de la Universidad de Estocolmo, un grupo de más de 30 científicos altamente calificados proponen un conjunto de nueve límites del sistema terrestre que no deben ser traspasados. Basados en modelos y literatura relevante, estos autores intentan cuantificar los límites seguros del sistema terrestre en referencia al clima, la biosfera, los ciclos del agua y los nutrientes, y los aerosoles a escala global y sub-global. Varios de ellos parecen haber sido vulnerados, con un alto riesgo de irreversi-

bilidad, al menos en más de la mitad de la superficie terrestre mundial. La idea de los autores es que esas evaluaciones proporcionen una base cuantitativa que sirva para intentar salvaguardar globalmente, en el presente y el futuro, los bienes que son comunes a los que habitan el planeta (ver Figura).



1.2 Las amenazas y desafíos globales

Como señala Víctor Sadras en su Prólogo, las poblaciones del mundo se urbanizan y se desacelera su crecimiento debido a una tasa de fertilidad total inferior a la tasa de reemplazo. No obstante, se estima que hacia 2050 la población mundial alcanzará los 9.700 millones de almas. Una consecuencia de la caída

en el crecimiento poblacional en numerosos países será **una intensa competencia global por talento y una pérdida relativa de valor de los empleos menos calificados**. En medio de estos cambios, Sadras advierte acerca del valor creciente que tendrá la ciencia rigurosa, y de los peligros que acarrearán las llamadas pseudo-ciencias, las cuales proponen soluciones utópicas o simplistas a problemas científicos complejos.

1.3 El mundo y la Argentina

En el Capítulo 1, Fernando Andrade indica que entre 1960 y principios del siglo XXI la cantidad de hectáreas por habitante en el mundo para producir alimentos se redujo de 0,45 a 0,20 has, al costo de una creciente huella ecológica y de una reducción de la capacidad biológica del planeta para dar sustento a la producción de alimentos y otros bienes agropecuarios. Recientes estimaciones indican que la demanda global de alimentos de cultivos entre 2022 y 2050 crecería un 39 %. Pero el costo ambiental plantea la necesidad de encontrar maneras más eficientes y sustentables de alimentar a la población mundial. **Muchos expertos hoy coinciden en que los incrementos necesarios de producción deben lograrse a través de rendimientos mayores y más estables en las actuales áreas agrícolas, sin avanzar sobre tierras naturales o ganaderas que son valiosas en términos ambientales.**

De hecho, Argentina ha cuadruplicado su producción de cultivos en las últimas seis décadas, y en parte lo ha logrado a través de la tecnología, pero también avanzando sobre áreas de bosques y pastizales, siendo la soja el cultivo dominante.

En medio de estos logros, el nivel de reposición de los nutrientes extraídos del suelo ha sido bajo y la ausencia de rotaciones balanceadas ha sido causa de erosión, adversidades bióticas, ascenso de napas, y un alto consumo de fitosanitarios.

Andrade sugiere **una estrategia que intensifique el uso de tecnologías de procesos basados en conocimientos y en tecnologías duras, como el mejoramiento genético y la biotecnología.** Considera que, como productor mundial con capacidad para alimentar unos 400 millones de personas, Argentina juega un rol clave en la futura seguridad alimentaria global.

1.4 Integrando producción y ambiente en la agricultura argentina

En el capítulo 12, Emilio Satorre desarrolla un planteo integrador basado en **ideas esenciales que son necesarias a la hora de armonizar producción y conservación del ambiente.** Integra conceptos básicos de la actividad productiva y el manejo del ambiente, intentando desacoplar la producción sostenida de bienes de su posible impacto negativo sobre el ambiente. Procura, de esta manera, desbaratar los fundamentos del conflicto agro-ambiente recurriendo al conocimiento científico y tecnológico.

Destaca el autor que la agronomía integra conocimientos de las ciencias básicas, la ingeniería, la genética, la fisiología, la ecología, la sociología y varias otras disciplinas. **De esa integración surge un modelo agronómico dominante basado en una colección de buenas prácticas que incluyen la rotación de cultivos, el manejo de la fertilidad de los suelos, el manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades, el uso de cultivos de cobertura y otras prácticas tecnológicas que pueden ser aplicadas en distintos sistemas y ambientes. Este modelo coexiste con otros formatos de agriculturas alternativas (como la producción agro-ecológica, la biodinámica, la permacultura, etc.) que, sin bien apuntan a mejorar la sustentabilidad ambiental, tienden a alejarse de una concepción científica de la producción.** En síntesis, la agricultura sustentable es simplemente una buena agronomía al servicio de la producción, el ambiente y la sociedad.

Satorre no ignora los **posibles perjuicios ambientales de la actividad agropecuaria, como la potencial contaminación agroquímica, la emisión de gases de efecto invernadero, la degradación física, química y biológica de los suelos o la pérdida de servicios ecosistémicos.** Imagina un cambio virtuoso hacia afuera de los establecimientos que consiste en la búsqueda de nuevos modelos productivos que permitan, por un lado, el desarrollo armónico del individuo con su actividad, y por el otro, contribuir con beneficios económicos, ambientales y sociales que son los ejes de la producción sustentable. Considera que es el conocimiento científico aplicado al manejo de procesos y de insumos el que permitirá alcanzar nuevos niveles de productividad con la misma oferta de recursos disponibles minimizando el impacto ambiental. Asume Satorre que la producción agropecuaria ya no es una actividad exclusivamente privativa del productor, ya que sus decisiones impactan fuera de los límites de su propiedad y se proyectan (a veces para bien, a veces no) a otras escalas de integración de la sociedad, como la local, la regional o el propio país.

La búsqueda de un nuevo modelo para cada región productiva enfrenta desafíos. Los indicadores simples o aislados del contexto solo dan respuestas parciales al dilema entre productividad y ambiente. **En la práctica, algunas prácticas aisladas, pueden generar efectos antagónicos o indeseados.** Por ejemplo, la fertilización fosfatada de soja mejora los rendimientos del cultivo, pero al causar una mayor extracción de ese nutriente, exacerba su balance negativo en el suelo. Y como existen respuestas productivas decrecientes a la fertilización, un incremento en la aplicación del fertilizante fosforado puede disparar episodios de contaminación de aguas. **Estos antagonismos se pueden neutralizar o minimizar aplicando el conocimiento científico y tecnológico.** La ciencia es, por lo tanto, el aliado clave en la búsqueda de una agricultura más productiva y ambientalmente sustentable.

2. Meso-escala: Los ecosistemas agropecuarios

2.1 El suelo

La importancia del suelo es abordada en el capítulo 2 por Roberto Casas. El suelo es el insumo básico que sostiene la producción de bienes en los agro-ecosistemas de Argentina. Pese al avance tecnológico como la siembra directa y otras opciones de labranza conservacionista, es inevitable considerar la preocupación que generan los procesos erosivos. A escala global, se estima que un 33 % de la tierra productiva sufre degradación debida a erosión, salinización, compactación, acidificación y contaminación química de los suelos. Si bien la intensidad de la degradación varía espacialmente, en el capítulo 2 Casas indica que un 32 % de las tierras en Argentina están afectadas por erosión hídrica, y otro 37 % por erosión eólica. La química de los suelos resulta afectada por pérdida de materia orgánica y de nutrientes esenciales, pero también ocurre un deterioro de su estructura física, salinización, alcalinización, acidificación y pérdidas de biodiversidad edáfica. Se estima que la erosión produce pérdidas de rendimiento que oscilan entre 20% y 50% en las tierras más productivas de Argentina.

Para resolver estos problemas, Casas propone una estrategia a nivel nacional que se apoya sobre cuatro ejes estrechamente vinculados: (i) **la aplicación de buenas prácticas al manejo de los suelos**, (ii) **la implementación de modelos de intensificación agropecuaria sustentable que impidan el avance de la agricultura sobre tierras ubicadas en ambientes frágiles**, (iii) **la implementación de un Programa Nacional de Conservación de Suelos** y (iv) **el fortalecimiento de la Legislación Conservacionista**. La estrategia requiere una coordinación imprescindible entre el estado nacional y los estados provinciales con el fin de formular políticas coherentes de mediano y largo plazo.

2.2 El agua

El agua es el otro insumo básico que sostiene la productividad de los agro-ecosistemas. El agua tiene en Argentina una dinámica más compleja que la de los suelos, y que es necesario entender para diseñar estrategias sustentables en el mediano y largo plazo. Al ser la soja y el maíz dos cultivos dominantes de la agricultura argentina, y pese a su alta dependencia de las lluvias, sorprende que reciban un aporte mínimo de agua de riego. En el capítulo 3, Esteban Jobbágy marca una diferencia esencial entre Argentina y Estados Unidos. Argentina se caracteriza por aplicar mínimo riego a los cultivos aún en sus llanuras secas, y posee una infraestructura nula de drenaje en sus zonas húmedas y anegables. Ello ha evitado algunos problemas ambientales que son comunes en EEUU, como la depresión de los acuíferos subterráneos por sobreuso, la degradación de ecosistemas acuáticos debidos a las redes de drenaje, y la contaminación de cursos y cuerpos de agua por uso excesivo de fertilizantes. Quizás sin percibirlo hasta tiempos recientes, los cultivos argentinos conviven en estrecha relación con las napas freáticas que se alojan muy cerca de la superficie debido a dos causas naturales: al relieve plano de sus suelos y a la inexistencia de redes naturales de evacuación superficial de agua. Pero también incide una influencia humana: durante las últimas décadas ocurrió un ascenso gradual de las napas debido a un nuevo estado hidrológico de la llanura provocado por la sustitución masiva de pastizales, pasturas perennes y bosques nativos, que mantenían a las napas lejos de la superficie, por cultivos anuales que, al transpirar menos agua que aquellos, favorecieron el ascenso freático. Podría pensarse que este nuevo estado hidrológico de la llanura ha sido causa de perjuicios para la agricultura argentina; sin embargo, ahora se puede probar que el ascenso freático ha generado beneficios cuantificables a la producción de granos debido a que redujo a la mitad las mermas de rendimiento esperables en años secos. La agricultura favoreció este nuevo estado hidrológico y se benefició por el mismo, logran-

do una estabilidad de la producción similar a la norteamericana bajo riego. Pero dos problemas suelen venir asociados al ascenso de las napas: la elevación de sales a la superficie del suelo, y la necesidad de aprender a convivir con el anegamiento, que se vuelve más frecuente en años lluviosos con napas superficiales. Ambos problemas pueden ser menguados mediante el conocimiento de la interfaz hidrología-agronomía y mediante obras de ingeniería que drenen los excesos hídricos. Es necesario promover usos de la tierra y buenas prácticas que regulen la dinámica del agua para maximizar beneficios y minimizar perjuicios.

Una estrategia freática racional requiere de dos pilares: el monitoreo y los manejos flexibles o adaptativos del consumo de agua. El monitoreo es clave para identificar opciones productivas de bajo y alto consumo de agua (por ejemplo, cultivo simple tardío en el primer caso, y doble cultivo o cultivo de servicio + cultivo de ciclo largo en el segundo), y adecuarlas a los perfiles freáticos.

Argentina ha incursionado poco en el riego complementario de los cultivos de llanura, entre otras razones debido a la incierta rentabilidad del riego explicada por la elevada carga impositiva, el alto costo de los equipos, el costo de la energía y una pobre infraestructura hidráulica (por ejemplo, en redes de drenaje).

Un panorama diferente ocurre en los oasis fluviales anexos a la cadena montañosa de los Andes. Estos sitios son protagónicos en la oferta de productos de alto valor y fuerte demanda interna (por ejemplo, frutas, hortalizas, nueces y semillas, vinos) y también externa, como peras, limones o vinos y mostos de uva. Aunque se riegan predominantemente con aguas superficiales, pueden requerir un complemento de agua subterránea. Presentan amenazas más predecibles y tangibles que las llanuras, ya que derivan del cambio climático. El aumento de la temperatura y su efecto sobre la retracción de las masas de hielo glacial y nívico por un lado, y los cambios en los regímenes de precipitación en las cuencas de abastecimiento hídrico por el otro, son las dos amenazas más eviden-

tes. Debe sumarse el riesgo salinización por revenimiento, propio de riegos de baja eficiencia, con altas pérdidas por percolación profunda, y con sistemas de drenaje inexistentes o imperfectos. La salinización por revenimiento afecta muchas tierras en los oasis de los ríos Juramento-Salado, Dulce, San Juan, Mendoza, Colorado y Chubut. A la competencia del riego con otros usos rurales o urbanos del agua, se suma la necesidad de liberar caudales que permitan sostener ecosistemas acuáticos aguas abajo. Detrás de estos problemas subyace la eficiencia de riego ¿Por qué no mejorarla y extender el área de regadío? Entre otras razones, porque el precedente de un caudal excedente fortalecería los conflictos con provincias aguas abajo que demandan compartir equitativamente los ríos inter-provinciales. Estos aspectos que atañen a la gobernanza inter-jurisdiccional del agua son importantes a la hora de mejorar la gestión de los oasis.

En un contexto de escasa infraestructura y alta dependencia de las lluvias, la agricultura de granos en las llanuras de Argentina se ha fortalecido en base a su capacidad para sostener rendimientos medios a altos. El conocimiento tecnológico contribuyó en tres áreas específicas: la siembra directa, el diseño de rotaciones inteligentes y el acople napa-cultivo. Es necesario ahora mejorar las capacidades de monitoreo, proyección y adaptación ante una oferta fluctuante de agua debida al cambio climático. En los oasis regados, la ineficiencia en el uso de aguas superficiales refleja a la vez un problema (de gobernanza y de conflicto inter-jurisdiccional) y una oportunidad (la de producir más con menos agua). Esa ecuación compleja exige ser cerrada en muy poco tiempo.

El Dr. Jobbágy sugiere considerar las siguientes cuatro estrategias respecto al aprovechamiento y manejo del agua (ver el capítulo 5): (i) **Las políticas deben considerar simultáneamente las tres sustentabilidades: producción, servicios eco-sistémicos y conservación de la diversidad**, (ii) **Las soluciones hídricas basadas en ecosistemas deben acompañar cualquier planteo de**

infraestructura hidráulica clásica y pueden, en algunos casos, reemplazarlos, (iii) El monitoreo del agua en los sistemas agrícolas y su integración a sistemas transparentes e inteligentes que son facilitados por nuevos atajos tecnológicos, (iv) Anticiparse a una nueva ola de expansión del riego parece el desafío más crítico en un escenario de baja inversión pública y carencia de incentivos privados.

2.3 El carbono

El carbono se ha convertido en una preocupación de primer orden debido a su incidencia en el calentamiento y cambio climático global del planeta. Un desafío mayor a escala planetaria es lograr que los sistemas humanos emitan menos carbono del que pueden extraer mediante captura y almacenamiento biológico en tierras y océanos, o a través de mecanismos de inyección y almacenamiento geológico. Es éste un imperativo que no se está cumpliendo, y sus efectos sobre la atmósfera terrena son visibles y medibles. Este objetivo no será factible a menos que se reemplacen las fuentes de energía fósil convencionales y se fortalezcan las denominadas Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN), que procuran compensar las emisiones con un incremento de los almacenes de carbono en océanos, bosques y suelos. ¿Qué aporta el país a estas SBN?

En el capítulo 4 Miguel Taboada puntualiza que la falta de actualización impide a la Argentina acceder a información detallada sobre los stocks de carbono de sus suelos, su estado actual respecto a un nivel teórico de saturación, y los probables tiempos de recuperación en caso que se implementen prácticas de regeneración. Pero la demanda de conocimiento acerca del carbono en los ecosistemas excede al ámbito de los suelos. **Existe una creciente presión para incorporar los ambientes naturales, ecosistemas boscosos, humedales costeros y continentales, a las políticas de mitigación del cambio climático.** La Argentina posee unos 33 millones de hectáreas de monte nativo y arbustales, y 5,687 millones de

hectáreas de humedales considerados sitios RAMSAR. En general, estos ambientes constituyen importantes almacenes de carbono, que son afectados por degradación antrópica, incendios y desertificación. Pese a los aportes de algunas instituciones oficiales, **la Argentina es el único gran país agroexportador que no monitorea periódicamente el carbono y la calidad de sus suelos de uso agropecuario.** No obstante, el país ha introducido innovaciones tecnológicas que le permiten mejorar la eficiencia de sus sistemas productivos y, a la vez, fortalecer el almacenamiento de carbono en biomasa y suelos. **Inciden aquí tecnologías como la siembra directa, las rotaciones más intensivas, los cultivos de cobertura, doble cultivo, pastoreos “regenerativos” o racionales, y los distintos formatos de agricultura por ambientes y de precisión basados en la inteligencia artificial (IA).** La recuperación de bosques y de la materia orgánica de los suelos, tendrá una ventana de 20 años hacia futuro en la cual el país podrá contabilizar capturas de carbono mediante SBN (soluciones basadas en la naturaleza). La expansión de los sistemas silvo-pastoriles y silvo-agrícolas, la reducción drástica de la deforestación, el manejo de los incendios, y la recuperación de humedales costeros son opciones viables dentro las SBN. **Siguiendo este camino de trazabilidad y diferenciación, Taboada propone que la Argentina trabaje en una “Marca País” trazable que nos permita incorporar a mercados selectivos y de alta exigencia en materia ambiental.**

En el capítulo 5, Ernesto Viglizzo ofrece una visión complementaria a la de Miguel Taboada respecto a la economía del carbono en el sector rural. Es necesario repasar los enfoques y metodologías mediante los cuales se contabiliza el carbono en el sector agropecuario. El enfoque predominante es el de la Huella de Carbono (HC) de un producto, que se calcula dentro de un marco metodológico conocido como Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Además, de las emisiones propias de metano y óxido nitroso, la HC contabiliza emisiones de actividades conexas que, en sentido estricto,

no son propias del producto evaluado, por ejemplo, las emisiones generadas por empresas manufactureras que fabrican y proveen insumos al sector agropecuario (fertilizantes, plaguicidas, combustibles, alimentos, etc.). Pero también ocurre con las emisiones post prediales que no controla el productor, como las que ocurren en plantas procesadoras, el transporte y la distribución mayorista y minorista. Existe, por tanto, un debate no resuelto. La HC presenta algunos condicionamientos metodológicos: por ejemplo, la carne bovina tendrá siempre una carga de carbono que será mucho más alta (en escalas de 10) que la de los cultivos agrícolas. Como las emisiones en la HC se estiman por kg o ton de producto, éstas son divididas por la cantidad de kg producidos por hectárea, y como la carne bovina produce por hectárea muchos menos kilos que cualquier cultivo anual, su HC será siempre mucho más alta que la de cualquier cultivo. El denominado Balance de Carbono (BC) se presenta como un enfoque alternativo al del ACV para contabilizar el carbono agropecuario. Desde la perspectiva del BC es necesario estimar tanto las emisiones como la captura y almacenamiento de carbono en un sistema dado, que puede ser el predio, el ecosistema, el país. En este caso, la unidad de referencia es la hectárea productiva y no el kg o ton de producto como propone el ACV. El punto vulnerable del BC es la estimación de la cantidad anual de carbono por hectárea que pueden potencialmente capturar y almacenar las tierras de pastoreo (como pastizales, sabanas, pasturas implantadas, arbustales, sistemas silvo-pastoriles, regiones semi-desérticas) y las áreas boscosas. La utilidad de ambos indicadores varía de acuerdo al sistema de producción evaluado. La HC parece ser adecuada para evaluar los sistemas intensivos con alta tasa de emisión por uso de insumos pre-prediales y procesos post-prediales. El BC, en cambio, se adecua mejor para evaluar los sistemas extensivos de producción que miden las emisiones y las capturas anuales de carbono por unidad de tierra. El BC estimado a partir de una base científicamente robusta, se presenta como un instrumento complementario a la HC para diferenciar estrategias

productivas y negociar beneficios comerciales futuros. Por ejemplo, el Acuerdo Verde de la UE expresa la decisión de comerciar con países que logren demostrar, mediante evidencia científica verificable, que sus productos exportables acreditan una “carga” de carbono tolerable a los estándares europeos, generalmente basados en el Análisis de Ciclo de Vida de cada producto. Sin embargo, este Acuerdo omite que las tierras ganaderas de Argentina cuentan con una extensa plataforma de fotosíntesis con capacidad para capturar y almacenar carbono. Así lo indicarían resultados recientes del OCO-2, un proyecto novedoso instrumentado por la NASA y otras instituciones científicas que evalúa expeditivamente desde el espacio el balance anual de carbono de varios países y regiones.

Son necesarias acciones –tanto del sector público como privado- destinadas a reducir emisiones y a extraer carbono de la atmósfera mediante técnicas de “cultivo de carbono” (carbon farming). El carbono pasaría a ser así un commodity comerciable. Argentina, que cuenta con una extensa plataforma de fotosíntesis, debería orientar una política que adopte al carbono como un commodity adicional que se sume a los restantes productos primarios. Por unidad de producto bruto agropecuario, la Argentina presenta tendencias declinantes de emisión que tienden a consolidarse en el mediano y largo plazo. En línea con esto, **sería necesario activar mecanismos de mercado que moneticen al carbono como un commodity sujeto a negociación.**

Conocemos cómo juega la HC en los mercados ambientales altamente regulados. Pero desconocemos cómo pueden jugar nuestros resultados de BC. Por lo tanto, (i) **el BC (Balance de Carbono) es una noción que debería ser profundizada en Argentina, tanto en los inventarios nacionales reportados regularmente por el gobierno, como en los emprendimientos privados que aspiran a contabilizar el carbono de las empresas.** Una de las claves es (ii) **incorporar a las tierras ganaderas como sumideros funcionales de carbono,** (iii) **Dada la aparición de instrumentos novedosos**

para contabilizar balances de carbono como el ECO-2 de la NASA, parece necesario conciliar sus resultados con aquellos generados a partir de los inventarios nacionales. No es conveniente mostrar discordancias tan importantes entre métodos que evalúan los BC. (iv) **Dados los BC positivos que ECO-2 NASA asigna a la Argentina como país, es necesario explorar en qué medida esos resultados representan un sobre-cumplimiento de los compromisos firmados por nuestras autoridades en la COP 21 de París.** (v) De igual manera, **es imprescindible esclarecer si los balances positivos que ECO-2 NASA asigna a la Argentina pueden dar cobertura a los productos agropecuarios que el país comercializa en los mercados internacionales.**

2.4 Los bosques

Más allá del valor ético, ecológico, ambiental, paisajístico y climático de los bosques, es necesario también valorizarlos en función de un aspecto utilitario; el agro-negocio argentino. El desarrollo de leyes y regulaciones es un paso preliminar para el manejo de los bosques nativos, y también para prevenir la implantación de barreras comerciales, o para impulsar la apertura hacia nuevos mercados a través de una gestión racional de las áreas boscosas.

En Argentina existe un profuso y complejo andamiaje de leyes, regulaciones, resoluciones, planes nacionales, programas y actividades respecto al uso y aprovechamiento de los bosques nativos, que es descripto en detalle por Gabriel Vázquez Amábile, Alejandro Radrizzani, Pablo Peri y Eugenia Magnasco en el Capítulo 8 de esta obra. La legislación respecto a la gestión del bosque nativo descansa en tres leyes: La Ley de Ordenamiento Territorial del Bosque Nativo (Ley 26.331 del 2007), la llamada Ley del Fuego (Ley 26.815 de 1996 pero promulgada en 2013), y su posterior modificación por la Ley 27.604 del 2020. Como parte del andamiaje, existen dos instrumentos de aplicación: El Programa Nacional de Protección del Bosque Nativo, y el Fondo Nacio-

nal para el Enriquecimiento y Conservación del Bosque Nativo. Este Fondo es reforzado por una fuente de financiamiento externo que se conoce como Programa REDD (Red de Emisiones por Deforestación y Degradación Forestal), creado por Naciones Unidas, y que implica la asignación de fondos en beneficio del país, aunque no en beneficio de propietarios de tierras forestales. Existen asimismo una diversidad de Planes Nacionales en apoyo de esta estructura, por ejemplo, el Plan de Manejo Sostenible del Bosque Nativo, el Plan de Aprovechamiento del Cambio de Uso del Suelo, el Plan de Manejo del Bosque con Ganadería Silvo-Pastoril, el Plan Estratégico Forestal y Foresto-Industrial 2030, y la creación de una Mesa de Competitividad Foresto-Industrial del 2019. Existen asimismo dos actividades económicas sometidas a regulación que emergen de estos Planes Nacionales: una destinada al Aprovechamiento Forestal del Bosque Nativo para Productos Maderables y No Maderables, y otra destinada a la Producción Ganadera Silvo-Pastoril, asociada al Plan de Manejo del Bosque con Ganadería Silvo-Pastoril.

Respecto al fuego, una nueva normativa establece prohibiciones en relación al uso de tierras incendiadas por un plazo de 30 años en praderas, pastizales o matorrales, y de 60 años en bosques, áreas protegidas y humedales. Sin duda, esta propuesta ha sido generada por personas sin formación técnica, que desconocen el tema, y que asumen que todos los fuegos son intencionales y quienes lo sufren deben ser pasibles de sanciones de muy largo plazo. Con ello se castiga a productores que, aun habiendo padecido las pérdidas y daños de un incendio, se le impide disponer de su propiedad por muchos años.

Sin duda, **esta enorme maraña de intervenciones estatales complica la gestión de los bosques nativos y la propia actividad agropecuaria. Sin duda, debe ser perentoriamente simplificada con intervención del sector privado, minimizando y desburocratizando intervenciones innecesarias.**

Pero más allá de las legislaciones y regulaciones domésticas, desde la perspectiva del agro-negocio también existe una amenaza externa. Dentro del programa European Green Deal (Pacto Verde Europeo), que abarca amplios aspectos de política ambiental, la UE procura alcanzar emisiones netas cero (carbono neutralidad) para el 2050. Como parte de los varios capítulos abordados, elabora una ley destinada a evitar la venta de productos producidos en tierras deforestadas, como madera, aceite de palma, soja, carne bovina, caucho, café y chocolate. Se la identifica dentro de un proyecto denominado Diligencia Debida. La comisión europea que elabora el documento, reconoce su responsabilidad parcial en el problema global de la deforestación al importar productos de áreas recientemente deforestadas. Según la ley, las empresas deberán demostrar que no produjeron bienes de origen agropecuario en tierras deforestadas desde el 31 de diciembre de 2020. Reemplaza a otra ley destinada a evitar la venta de productos madereros extraídos ilegalmente. El proyecto ha sido bien recibido dentro de la UE y algunas naciones con las cuales se relaciona bajo el argumento de que esa política ayudará a reducir la contribución del bloque a la deforestación en todo el mundo. Pero ha sido criticado en otros países exportadores de bienes agropecuarios por los efectos que puede tener en los países no pertenecientes a la UE y en los pequeños agricultores.

Como país, hay un hecho que Argentina no puede ignorar: la cubierta arbórea extrae de manera natural, y acumula en su biomasa y suelo, parte del dióxido de carbono que se concentra en la atmósfera y que captura a través de la fotosíntesis. Desde la revolución industrial, los bosques han sido eficaces reguladores de la temperatura global. Sin los bosques y otros biomas, no podrían mantenerse las temperaturas globales por debajo del umbral de 1,5 °C, que es el umbral acordado en el Acuerdo de París del 2015 (COP21). Las evidencias científicas demuestran que los bosques tropicales tienen un efecto general de enfriamiento global, no solo

por la extracción de carbono atmosférico, sino también por las elevadas tasas de evapotranspiración que favorecen la cobertura de nubes. Cuando se toman en cuenta todos estos efectos, la contribución estimada al enfriamiento global aumentaría en un 50 %. Sin embargo, pese a que la ciencia ha demostrado que estas soluciones basadas en la naturaleza deben ser asociadas a proyectos para proteger, restaurar y administrar de manera sostenible las áreas boscosas, estos proyectos reciben solamente un tercio de la financiación que se requiere para cumplir en el año 2030 con los objetivos climáticos acordados en la COP21.

Las causas de la devastación forestal están bien tipificadas, y nuestro país no es una excepción a la regla: algunas industrias madereras y actividades agropecuarias han operado – y a un ritmo mucho menor, aún operan- bajo **un régimen rudimentario de políticas que favorecen las ganancias financieras de corto plazo producto de la deforestación, sobre los perjuicios a largo plazo que afectan a la sociedad.**

Las prácticas forestales no sustentables contribuyen, además de su impacto sobre el clima local, a destruir los hábitats, a extinguir la flora y la fauna, y a degradar la provisión de servicios ecosistémicos esenciales (como la estabilización del clima local, la regulación del agua o la protección de los suelos). Algunos de los problemas climáticos que sufre el país parecen responder en parte a causas transfronterizas. Por ejemplo, la deforestación en el Cerrado y la Amazonia brasileña provoca cambios en la circulación atmosférica de humedad y en los patrones de precipitación en el Noreste y centro de Argentina, causando o agravando sequías que pueden afectar la productividad agrícola nacional. Esto requiere **acordar con los países vecinos una política común en materia de gestión de los bosques, principalmente los tropicales.**

Una política forestal sensata para el país consiste en incursionar sobre incentivos y desincentivos que permitan proteger los bosques nativos. Mientras no se implementen políticas do-

mésticas tendientes a reducir los incentivos que impulsan a los propietarios de tierras a talar árboles, la deforestación será una consecuencia inevitable. **Como la tala de árboles todavía es rentable, para mantener la funcionalidad de los bosques se debe otorgar más valor a los beneficios ecosistémicos que brindan las tierras forestales que a los beneficios que genera su destrucción.** Es un hecho positivo señalar que a escala global se multiplican las empresas que establecen objetivos climáticos basados en el conocimiento científico, y ello involucra inversiones en el sector agrícola y en otros sectores que en el 2021 superaron los 38 billones de dólares en la economía mundial. Por otra parte, se verifica en los países desarrollados del Hemisferio Norte una creciente demanda de los consumidores para generar reducciones genuinas y verificables en las emisiones de gases de efecto invernadero. **La acción climática basada en el mejor conocimiento científico disponible es el complemento valioso que apoya las decisiones responsables de las corporaciones comerciales. Se deben incentivar fuertemente en el país aquellas estrategias que, basadas en la ciencia, den transparencia social a la gestión ambiental de las empresas.** Esto requiere, en paralelo, una decidida acción gubernamental de inversiones en investigación científica y desarrollo tecnológico, y simplificar la maraña de leyes y regulaciones. Premiar la buena conducta debería ser la base de una política nacional que se ocupe de preservar la funcionalidad de los bosques nativos. Estos incentivos deberían incluir, entre otros mecanismos tales como las desgravaciones impositivas, la promoción de inversiones en el mercado de carbono y las certificaciones ambientales que favorezcan el acceso a mercados exigentes en materia ambiental. Desde la esfera gubernamental se puede promover la venta de créditos de carbono para incentivar a los propietarios a convertir sus tierras boscosas en eficaces sumideros de carbono. Una visión de mercado respecto al secuestro de carbono debe ir acompaña-

da de **una política de incentivo decidido a la implantación de bosques comerciales con variedades de rápido crecimiento.**

Por otra parte, **una política moderna que favorezca la preservación forestal debe privilegiar estrategias de carbono neutralidad dentro de un estándar de Carbono Neto Cero.** El pilar central de esta estrategia debería apoyarse en el concepto de jerarquía de mitigación. La jerarquía de mitigación implica no solamente la reducción de emisiones a lo largo de las cadenas de valor y las operaciones comerciales, sino también incluir acciones que ayuden a mitigar emisiones externas a la empresa. Todas las empresas con vocación para asumir un liderazgo climático, **deberían ser estimuladas mediante incentivos para abordar acciones climáticas que vayan más allá de sus cadenas de valor.** Esto implica incursionar e invertir, entre otras cosas, en la protección y restauración del patrimonio forestal nativo. Esas acciones deberían ser ampliamente publicitadas como política gubernamental.

Respecto a los desincentivos, estos deben estar basados en el cumplimiento de un sistema simple de leyes y regulaciones. Es necesario establecer, mediante reglas claras de juego, un sistema transparente de penalizaciones basadas en impuestos y multas a quienes infrinjan las leyes vigentes.

2.5 La biodiversidad

La conservación de la biodiversidad constituye un factor que se ha convertido en prioridad de cualquier política ecológica y ambiental. Globalmente, se compone de unas 1.837.526 especies descriptas por la ciencia, aunque se estima que la cifra real puede oscilar entre 3.000.000 y 13.000.000 (ver capítulo 9 elaborado por Jorge Crisci, Claudio Bertonatti y Liliana Katinas). En la Argentina se han descripto 3.303 especies de vertebrados y 10.221 especies de plantas superiores, aunque siempre el número total es mayor al descripto. La biodiversidad puede ser definida como la

variedad (inter-específica) y variabilidad (intra-específica) de los seres vivos y de los ecosistemas que éstos integran. Los componentes de la diversidad biológica de mayor interés para la conservación, se organizan en tres niveles: el de los genes, que constituyen las bases moleculares de la herencia; el de las especies, que son conjuntos de organismos afines capaces de reproducirse entre sí y el de los ecosistemas, que son complejos funcionales formados por los organismos y el medio físico en el que habitan. Muchas de las especies de nuestro planeta se extinguen por causas humanas a una tasa que supera largamente a la tasa natural de extinción. Si bien la extinción es un fenómeno natural vinculado a la historia de la vida en el planeta, estaríamos ingresando en una sexta etapa de extinción masiva. La pérdida de especies compromete la viabilidad de los ecosistemas y afecta a los humanos a través de su valor económico, estético, científico, ético, socio-cultural y biológico. Un reciente informe de IPBES indica que las acciones humanas hoy amenazan a alrededor del 25 por ciento de las especies, lo que sugiere que alrededor de 1 millón de especies ya se enfrentan a la extinción, a menos que se tomen medidas drásticas para atenuarla o detenerla. Los principales usos que el ser humano hace de las especies animales y vegetales están relacionados con su alimentación, vestimenta, producción de energía y distintos tipos de materiales. Cerca del 75% de la población mundial depende casi exclusivamente del uso de las plantas para el cuidado de la salud

Entre las causas directas de la pérdida de biodiversidad aparecen la fragmentación y eventual pérdida del hábitat, la sobreexplotación de los recursos naturales, la introducción de especies exóticas invasoras, la contaminación del complejo agua-suelo-atmósfera y el cambio del clima mundial. Las causas indirectas incluyen el crecimiento de las poblaciones humanas, las políticas y los sistemas económicos y jurídicos, la evaluación de la biodiversidad en escalas de tiempo inadecuadas, la exclusión social y la insuficiencia de conocimientos científicos o su mal uso.

Las estrategias para la conservación de la biodiversidad pueden abordarse desde: (i) la ciencia, (ii) la política, (iii) la educación y (v) las prácticas agrícolas. Desde el campo de la **ciencia**, el Impedimento Taxonómico es el concepto utilizado para definir los errores y deficiencias en nuestro conocimiento y que afectan nuestra capacidad para conservar y utilizar la biodiversidad. **Como el conocimiento actual de estos organismos (útiles y dañinos) es limitado, es necesario intensificar el estudio de la biodiversidad desde la Sistemática, la Biogeografía y la Ecología para acceder a marcos conceptuales que permitan manejar criteriosamente los ambientes modificados por la actividad humana.** Cualquier política destinada a conservar la biodiversidad debe orientarse a **reducir la pérdida y fragmentación del hábitat, la sobre explotación de los recursos naturales, la invasión de especies exóticas y la contaminación. Debe combatir el cambio climático, establecer marcos económicos y jurídicos que asignen el verdadero valor a los recursos naturales, proyectar políticas de largo plazo, combatir la marginación social, tomar decisiones basadas en el conocimiento científico.** En materia de **educación**, se necesita un **esfuerzo importante para crear una conciencia global de los problemas que afrontamos.** Desde el punto de vista de las **prácticas agrícolas**, gran parte de los biomas naturales se han convertido en biomas antropogénicos, es decir en mosaicos paisajísticos heterogéneos y fragmentados, como áreas urbanas incrustadas en áreas agrícolas, bosques intercalados con tierras de cultivo y viviendas, y vegetación administrada. Las políticas en esta materia deben apuntar a **ordenar el uso de la tierra según las condiciones locales de humedad y temperatura, a intercalar cultivos con especies nativas o naturales, y a utilizar modelos como los de la Alianza del Pastizal, surgidos como resultado de la pérdida de especies de aves, mamíferos, reptiles y anfibios de los pastizales del bioma Pampa debido a cambios en el uso de la tierra y ciertas formas de producción ganadera.**

2.6 Los servicios eco-sistémicos

La agricultura y la provisión de servicios eco-sistémicos es otra temática relevante en la producción agropecuaria moderna siendo abordada en el capítulo 10 por Martín Oesterheld y María Semmartin. Un ecosistema tiene elementos vivos (plantas, animales, microorganismos) y elementos no vivos, (agua, nutrientes, aire) que interactúan entre sí y con el hombre, y conforman un sistema complejo y dinámico denominado agro-ecosistema. Son estas unidades biofísicas las que brindan servicios que denominamos eco-sistémicos. Los servicios eco-sistémicos son las características, funciones o procesos ecológicos que contribuyen directa o indirectamente al bienestar humano; es decir, son beneficios que las personas potencial o efectivamente obtienen de los ecosistemas en funcionamiento. Desde un punto de vista teórico, los servicios eco-sistémicos pueden clasificarse en cuatro categorías principales: servicios de provisión, de soporte, de regulación y culturales (ver detalle en capítulo 9). Como están conectados entre sí, la provisión de un servicio puede repercutir favorable o desfavorablemente sobre la provisión de otros. Esas interacciones, a veces conflictivas y a veces sinérgicas, son el nudo del problema, especialmente cuando se trata de conciliar los servicios de provisión con los de regulación. Hoy se dispone de un marco conceptual para resolver estos dilemas, y crecientemente se buscan prácticas y alternativas tecnológicas destinadas a convertir las relaciones de conflicto en sinergias entre servicios que antes se consideraban contrapuestos. Los estereotipos extremos tienden a simplificar y polarizar la discusión e impiden encontrar un enfoque objetivo y equilibrado que tenga en cuenta la necesidad de abordar simultáneamente los desafíos de producción y rentabilidad con los imperativos ambientales y sociales.

Desde hace décadas, la agenda agrícola incorpora una creciente preocupación por el componente ambiental en todos los niveles del sector. Se recomiendan intervenciones con el fin de maximizar los servicios de regulación y soporte, y aún fortalecer la oferta de

servicios culturales a través de una mayor diversidad paisajística. Estos conceptos resaltan la relevancia de la escala, ya que gran parte del debate entre producción de bienes económicos y producción de servicios ecosistémicos puede resolverse a través de la ocupación o uso de distintas porciones del paisaje destinados a distintos servicios ecosistémicos.

Aparecen distintas estrategias que intentan optimizar las relaciones conflictivas entre producción y ambiente en distintas áreas de incumbencia. Por ejemplo, **en las explotaciones agropecuarias, se recomiendan prácticas como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas, la conservación del suelo y la utilización de tecnologías de precisión para mejorar la eficiencia del uso de recursos y reducir impactos no deseados.** En el ámbito educativo, las instituciones formadoras de profesionales y técnicos del sector incorporan contenidos relacionados con la sostenibilidad y el cuidado del ambiente en sus programas de estudio. Los gobiernos desarrollan políticas y regulaciones que promueven prácticas agrícolas sostenibles y buscan proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Asimismo, las empresas del sector reconocen la importancia de la sostenibilidad en sus estrategias de negocio e impulsan la adopción de tecnologías y prácticas más respetuosas con el medio ambiente. Y las investigaciones, tanto del sector público como del privado, priorizan temas relacionados con la sostenibilidad de la producción agropecuaria.

Es así que se proponen **sistemas agrícolas con secuencias de cultivos que maximicen el tiempo en que el suelo permanece cubierto por vegetación, como el doble-cultivo estacional, o cultivos de cobertura que permiten mantener cubierto el suelo durante varios meses. De esta manera, reducen la erosión, controlan malezas, retienen agua y, finalmente, se incorporan al suelo como aporte de energía, carbono y nutrientes.**

La planificación y el diseño a escala de paisaje o ecosistema, permite incorporar áreas de vegetación permanente, que potencian servicios ecosistémicos de protección y regulación, como las franjas vegetadas con especies perennes, que son refugio de insectos benéficos y polinizadores. Asimismo, el diseño de vías de drenaje vegetadas reduce la velocidad del movimiento horizontal del agua (escorrentía), reduce la pérdida de suelo y conserva la funcionalidad de los cursos de agua. La incorporación de cortinas forestales aumenta la rugosidad de la superficie, reduce el impacto del viento y previene la erosión eólica.

3. Micro-escala: predios y lotes

Es en la micro-escala donde mayor incidencia tienen los planteos productivos y las actividades desarrolladas por los productores agropecuarios. De esta manera se convierten en los agentes clave de la gestión de la producción y del ambiente en un ámbito local. Y, naturalmente, sus acciones interaccionan con problemas que se detectan a escalas de espacio y tiempo mayores.

3.1 Los balances minerales del suelo

Los balances minerales en los suelos de Argentina plantean dos problemáticas opuestas y contrastantes. Por un lado, la mayor parte del territorio nacional está expuesta a una pérdida extensiva y casi crónica de nutrientes, muy especialmente en las áreas con mayor potencial agrícola. Por otro lado, existen focos puntuales de alta deposición de nutrientes en los sistemas ganaderos intensivos (feedlots y sistemas de engorde a corral, y lecherías que utilizan altas tasas de alimentación con concentrados).

Respecto a la primera problemática, Roberto Casas enfatiza que los rendimientos de los principales cultivos extensivos y, por ende, la demanda de nutrientes, se han incrementado en los últimos 20 años. El balance negativo de nutrientes, sumado a una declinación

de los niveles de materia orgánica (carbono) en los suelos, ha sido remarcado repetidamente por numerosos especialistas en suelos. A raíz de ellos se manifiesta en la actualidad una brecha entre los rendimientos actuales y los alcanzables en condiciones de secano, que oscila entre 32% y 41%, según los cultivos analizados. Las aplicaciones actuales de nitrógeno, fósforo y azufre en Argentina no son suficientes para contribuir a cerrar esas brechas de rendimiento. El promedio de reposición para el período 2001 – 2020 fue del 47%, 57% y 34% para los tres elementos mencionados, respectivamente. En la mayoría de los casos, los balances negativos indican una fuga neta de nutrientes de los suelos. **Alcanzar un 70 a 80% del rendimiento potencial es un objetivo razonable para productores con acceso a tecnología, y esa meta requiere un aumento substancial en el uso de fertilizantes. Pero en paralelo, es necesario el replantear integralmente el manejo de los nutrientes en los sistemas articulando las múltiples fuentes de nutrientes con procesos de reciclado, rotaciones, cultivos de cobertura, uso de insumos biológicos y minerales.**

Una problemática opuesta a la anterior ocurre en sitios específicos donde se encuentran asentados sistemas intensivos de producción ganadera. Nora Kugler, Marianela Diez y Miriam Barraco en el capítulo 6, indican que la ganadería bovina de engorde se ha especializado y ha evolucionado hacia sistemas más intensivos de alimentación. En los corrales de engorde el estiércol se concentra, y merced a las precipitaciones que varían en cantidad, frecuencia e intensidad, a las características del suelo (textura y estructura) y a la pendiente topográfica, los nutrientes tienden a lixiviarse y llegar al nivel freático, o bien tienden a acumularse en el sitio de alimentación. En todos los casos, esta situación es causa de contaminación del suelo, el agua y el aire. La contaminación puede ser causada por el exceso de nutrientes, la presencia de agentes tóxicos y patógenos, los cuales pueden afectar la calidad del paisaje y el ambiente. Es frecuente detectar exceso de nitratos, fósforo y otros

minerales en zonas aledañas a los corrales de ordeño en tambos, en el agua de los efluentes, en las pistas de alimentación y en los sitios destinados a las aguadas. El abordaje institucional de esta problemática depende de la legislación y las regulaciones de cada provincia y municipio, que pueden variar significativamente de un lugar a otro. **Esencialmente, el aprovechamiento de los residuos animales requiere introducir un nuevo paradigma en manejo de los nutrientes que integre el sistema ganadero intensivo con un sistema agrícola preparado para ingresar en un nuevo planteo de fertilización orgánica. Esto no implica eliminar el fertilizante sintético, sino procurar que este sea utilizado como complemento del fertilizante orgánico.** Es posible que la aplicación de fósforo a través del estiércol genere un desbalance de nitrógeno. Ese desajuste entre la oferta y la demanda de nutrientes puede reducir el valor percibido del estiércol. **Existen nuevas formas de procesar y comercializar el estiércol como fertilizante para facilitar su aprovechamiento y complementarse con los fertilizantes sintéticos, por ejemplo, el compostaje, la pelletización (procesamiento en gránulos), y la separación de las fracciones líquidas y sólidas con fines distintos.**

El material acumulado se suele depositar como pilas dentro del mismo corral, o bien ser removido para su aplicación como abono de los cultivos. La deposición en los lotes agrícolas contribuye tanto a aumentar la productividad de los cultivos como a mejorar la fertilidad de los suelos por el aporte de materia orgánica y nutrientes. El compostaje es la forma ideal de procesamiento como paso previo a su aplicación en los lotes, pero tal operación requiere de maquinarias costosas y una elevada escala productiva para amortizarlas. **Para mitigar la contaminación es necesario implementar prácticas que incluyan el monitoreo temporal de la calidad del agua subterránea en el área utilizada, la evaluación de su dinámica sub-superficial, el control de olores y polvillo, el manejo de residuos peligrosos, el control de roedores y**

moscas, y el manejo integrado del suelo, el agua y los desechos ganaderos. Un problema adicional es el manejo y disposición final de cadáveres de los animales muertos. Si se adoptan prácticas modernas como las aplicadas en la Unión Europea, será necesario desarrollar normativas que incluyan nuevos modelos de gestión del estiércol basados en la valorización de los fertilizantes orgánicos y la maquinaria requerida para su aplicación. En contraste con los fertilizantes sintéticos o minerales, el estiércol presenta algunas particularidades que requieren consideración. **Es necesario analizar el estiércol porque su concentración de nutrientes es variable y éstos deben mineralizarse para poder ser aprovechados por los cultivos. Es necesario administrar los excedentes porque la excesiva acumulación de estiércol determina que la incorporación a los lotes no se realice en las épocas más adecuadas. En regiones en las cuales se produce un exceso de estiércol, surge la necesidad de transferirlo fuera del predio, o bien convertirlo en otro recurso aprovechable, por ejemplo, como fuente de energía renovable (biogás). También se requiere monitorear la composición del estiércol crudo ya que, sin tratamiento previo, puede dispersar patógenos y residuos de drogas de uso veterinario.**

3.2 Los fitosanitarios

Jorgelina Montoya y Luis Carrancio son los autores del capítulo 7 sobre Gestión de Fitosanitarios en Agricultura. A lo largo de la historia los productos destinados a combatir plagas en el agro han tomado diferentes nominaciones, tales como pesticidas, plaguicidas, biocidas, agroquímicos, fitosanitarios y, últimamente, agrotóxicos que es un neologismo que destaca su toxicidad por encima de sus efectos benéficos cuando son bien manejados.

El concepto de producto fitosanitario (PFs) hace referencia a las sustancias o mezcla de sustancias utilizadas exclusivamente en la producción, elaboración o almacenamiento de las producciones

vegetales y sus productos. Los fitosanitarios son sustancias o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies no deseadas de plantas o animales que afectan la elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, maderas y derivados o alimentos para animales. Pueden ser de síntesis química o de origen biológico, e incluye coadyuvantes, fito-reguladores, desecantes y otras sustancias aplicadas a los vegetales antes o después de la cosecha. Más allá de su finalidad protectora, es inevitable considerar sus eventuales efectos negativos sobre las personas y los ecosistemas derivados de su mal uso. Ello interpela y obliga a utilizarlos de forma altamente racional y controlada o a realizar su reemplazo por tecnologías más amigables. En sus aspectos positivos, el uso de productos fitosanitarios ha permitido aumentar significativamente los rendimientos agrícolas y ganaderos.

Existe un interés público creciente en torno al impacto negativo del uso de fitosanitarios sobre la salud de los seres humanos y el ambiente en general. Los plaguicidas pueden migrar desde los sitios tratados hacia el aire, suelo y cuerpos y corrientes de agua. Su persistencia en los mismos depende del grado de retención y de la facilidad con que se degradan. Los fitosanitarios han sido ampliamente detectados en aguas superficiales a nivel mundial y representan, junto a los nutrientes, una de las principales causas de la degradación de la calidad de las aguas en ambientes agropecuarios. En Argentina, la presencia de residuos de fitosanitarios ha sido reportada en varias ocasiones tanto en aguas superficiales como subterráneas y también se han detectado residuos en peces y anfibios de la región pampeana.

En nuestro país el Decreto Ley 3489/1958 regula la venta en todo el territorio de la nación de productos químicos y biológicos, destinados al tratamiento y destrucción de los enemigos animales y vegetales de las plantas cultivadas o útiles, así como de los coad-

yuvantes de tales productos y establece sanciones en caso de incumplimientos. Diferentes y sucesivas regulaciones a nivel nacional fueron acompañando las demandas internacionales y nacionales respecto al uso de los fitosanitarios. Diecinueve provincias poseen sus propias leyes que regulan el uso de los fitosanitarios; cada una de ellas con diferentes alcances y estados de implementación. También los municipios establecen sus propias regulaciones. Si bien las normativas locales suelen ser muy diferentes entre sí, todas coinciden en el establecimiento de zonas a proteger (asentamientos humanos, cursos de agua, recursos naturales diferentes, etc.) rodeados de una zona llamada de amortiguamiento o buffer en la cual las restricciones o permisos de utilización de fitosanitarios tienden a disminuir los efectos negativos sobre esas zonas de protección. La Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios (Ley 27.279) ha significado un avance en lo que respecta a la disposición final de los mismos. De acuerdo a la normativa de cada provincia, la asociación Campo Limpio presenta ante la autoridad competente un plan de gestión de los envases vacíos para su disposición final.

Desde comienzos del milenio, en Argentina se ha registrado un aumento en el uso de fitosanitarios que acompañó la expansión del área agrícola, la cual estuvo asociada al aumento del área bajo siembra directa. Esto determinó que casi el 90% del mercado total de fitosanitarios correspondiera al control de malezas en la siembra directa.

Varias estrategias recomendadas provienen de antecedentes internacionales y contemplan los siguientes aspectos:

- (i) **La formulación de políticas públicas debe estar basada en la evidencia científica y no en hipótesis o supuestos no comprobados. Es necesario evitar generalizar los principios precautorios, y generar, desde el sector público, información básica y evidencia científica que permitan elaborar estrategias de uso de fitosanitarios y de manejo de las plagas.**

- (ii) **Anualmente se deben publicar las estadísticas oficiales del uso de fitosanitarios, expresadas en términos de cantidad de principio activo aplicado. Igualmente, se deben difundir estadísticas nacionales de personas intoxicadas por el manejo inapropiado de fitosanitarios, principalmente aquellos que se asocian a patologías crónicas.**
- (iii) **Se deben realizar sistemáticamente evaluaciones periódicas de residuos y poner en práctica regulaciones que limiten la deriva de los fitotóxicos en la interfaz de las comunidades urbanas y rurales. Igualmente, se deben fijar rangos de tolerancia de residuos de fitosanitarios, sin caer en el concepto facilista de exigir cero residuos.**
- (iv) **Se deben diseñar y establecer franjas de amortiguación en torno a las zonas sensibles, junto a una identificación clara de las condiciones meteorológicas, horarios y distancias mínimas de aplicación, dependiendo del método y producto a utilizar. Se deben aplicar tecnologías que permitan minimizar la deriva de gotas para evitar incidentes prevenibles.**
- (v) **Implementar programas de capacitación y mejora continua con el otorgamiento de licencias o permisos destinadas a aplicadores, operarios, comercializadores y asesores técnicos. Se debe implementar un proceso de inscripción o registro, y de verificación técnica, de los equipos pulverizadores terrestres y aéreos.**
- (vi) **Es importante impulsar decididamente la adopción de modelos o estrategias productivas que apunten a minimizar el uso de fitosanitarios fundados en ciencia seria y creíble.**

3.3 Las huellas ambientales

Más allá del imperativo ético que nos exige trabajar en la conservación de los ecosistemas y el ambiente, y de cumplir como

país con los compromisos internacionales firmados por el país, es necesario considerar en la relación agro-ambiente otras tensiones vinculadas al comercio internacional de nuestros bienes y servicios agropecuarios. En el capítulo 11 sobre Huellas y Balances Ambientales, Ernesto Viglizzo puntualiza que será necesario revisar con atención la estrategia ambiental de la Unión Europea (UE), ya que no se limita a preservar los ecosistemas y el ambiente fronteras adentro de la Unión, sino que procura extender su influencia a otros países, especialmente a aquellos con los cuales comercia o se relaciona. La estrategia Farm to Fork (Del Campo al Tenedor) de la UE se lanzó en mayo del 2020 como parte del llamado European Green Deal (Pacto Verde Europeo), que es una hoja de ruta que en teoría les permitirá convertirse en la primera región del planeta ambientalmente neutra en el 2050. Desde un punto de vista alimentario, son prioridades del Pacto Verde Europeo proteger la biodiversidad y los ecosistemas, reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo, mejorar la gestión de desechos y residuos, y garantizar la sustentabilidad de los océanos, lagos, ríos y la pesca. En paralelo, la UE implementa subsidios en beneficio de los productores comunitarios que se acojan a estos nuevos lineamientos en materia de política ambiental, lo cual puede afectar a países en desarrollo como Argentina que tienen una capacidad financiera limitada para implementar una política similar.

Está claro que hasta ahora podíamos decidir soberanamente hacer algo o no en política ambiental, pero eso ya no será así. Está claro que la UE, basada en el prestigio de sus instituciones científicas y académicas, influirá decisivamente sobre las políticas ambientales de Estados Unidos y el Reino Unido, y también las de China, India y otros países importadores de alimentos. Como queda clara la intención de la UE de liderar la transición hacia una sustentabilidad ambiental global, una manera inteligente de reaccionar es mirar hacia dónde va Europa y ajustar nuestras propias estrategias considerando las tendencias que van delineando el futuro.

Por ejemplo, el Pacto Verde Europeo ha ideado un Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera que servirá de modelo para otros mecanismos de ordenamiento ambiental. Ese mecanismo obligará a los productores agropecuarios y a los procesadores de alimentos a comprar “cuotas” dentro del mercado de carbono para compensar sus emisiones si éstas exceden ciertos umbrales marcados por nuevos estándares y regulaciones. La política ambiental de la UE ha sido claramente definida en materia agrícola y ganadera: i) reducir drásticamente el uso de plaguicidas sintéticos y fertilizantes, ii) promover los sistemas mixtos agrícola-ganaderos, iii) fortalecer la salud animal y el manejo extensivo del ganado, iv) restaurar y expandir los pastizales y pasturas permanentes, v) reforestar las áreas agrícolas, vi) diversificar el número y tipo de cultivos de cada granja individual, vii) incrementar la diversidad de hábitats, viii) incrementar la adopción de agriculturas orgánicas, ix) promover la investigación sobre buenas prácticas agropecuarias, x) promover la participación de grupos de interés. Naturalmente, estas medidas no están libres de restricciones: i) imponer que un porcentaje significativo de tierras agrícolas sean afectadas a la agricultura orgánica, ii) retirar de la producción tierras de alto valor en biodiversidad, iii) reducir o eliminar el uso de plaguicidas comerciales en áreas periurbanas, iv) reducir el uso de fertilizantes, v) reducir el uso de anti-microbianos en granjas, o vi) aplicar medidas precautorias sobre la genómica agrícola.

Definidas genéricamente, las huellas ambientales son medidas de trazabilidad que calculan los impactos ecológicos y ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto (“desde la cuna hasta la sepultura”). Incluyen desde los impactos pre-prediales debidos a la extracción de materias primas y a la manufactura de insumos, hasta los impactos prediales debidos al proceso de producción de primaria, y los post-prediales debidos al almacenamiento, procesamiento, envasado, transporte, distribución, consumo y disposición final. Hay Huellas cuantificables como las del carbono, la hídrica,

la forestal, la de nutrientes, la de plaguicidas o la de uso de energía fósil. Y las hay no cuantificables como aquellas que evalúan la biodiversidad, el hábitat, los servicios ecosistémicos o el bienestar animal. Cada una de ellas son resultado de aplicar diferentes metodologías. Por otro lado, los balances ambientales hacen referencia a sitios específicos en los cuales se calculan diferencias cuantitativas entre ganancia y pérdida de un factor ambiental relevante, por ejemplo, carbono o nutrientes. Respecto a sus huellas y balances, el agro argentino tiene particularidades (ventajas y desventajas) que deben ser analizadas con un criterio de inteligencia estratégica.

Varias estrategias pueden sugerirse en términos de huellas y balances ambientales. Debido a la crisis climática global (i) **la Huella de Carbono, estimada a través de métodos convencionales que privilegian el cálculo de las emisiones por unidad de producto, debería ocupar la primera posición en el ranking de prioridades.** En el contexto actual, este indicador no tiende a favorecer los intereses de la Argentina. Como factor de negociación (ii) **es necesario acoplar las estimaciones de Balance de Carbono con las Huellas de Carbono de nuestros sistemas y regiones productivas, ya que en ellas se contemplan tanto emisiones como capturas y almacenamiento de carbono por hectárea.** Cualquier estrategia ambiental, debería destacar que (iii) **la Huella Hídrica del sector rural argentino, compuesta en un 90 % por agua verde (lluvia), indica que este sector no compite con otros sectores económicos o sociales por el recurso hídrico, como sí ocurre en otros países en los cuales hay una competencia fuerte por fuentes escasas de agua.** Una tercera huella relevante para el país es (iv) **la Huella Forestal. Debe ser evaluada desde dos ángulos: la deforestación y la forestación comercial. Luego de un máximo de deforestación alcanzado en el 2010, el proceso se invirtió y la tasa anual de pérdida de área forestal decreció persistentemente desde entonces.** Generalmente la problemática de los nutrientes y plaguicidas en países de agricultura intensiva se analizan en

función del potencial de contaminación de estos insumos. (v) **Un aspecto a ser destacado en las negociaciones comerciales es que nuestras tierras tienden a mostrar balances negativos de nutrientes especialmente en las áreas de mayor aptitud agrícola; por tanto, sus Huellas de Nutrientes reflejan un bajo potencial de contaminación.** Respecto al uso de plaguicidas, nuestro sector rural tiene margen para mejorar considerando que es señalado por su alta tasa de utilización de principios activos de plaguicidas de síntesis química. No obstante, hay que **destacar que (vi) la Huella de Uso de Plaguicidas sintéticos, que creció desde los años 1990, comenzó a declinar persistentemente desde el año 2010.**

Una especial atención debería focalizarse en la puesta en valor de las ventajas ambientales históricas de sistemas emblemáticos del agro argentino. (vii) **A través del cálculo de Huellas y Balances, varios sistemas de producción tradicionales de Argentina han demostrado poseer atributos positivos que deben ser revalorizados y vinculados a denominaciones de origen y a certificaciones ambientales verificables.** En esa categoría de **sistemas emblemáticos de Argentina**, entran cuatro de ellos que han sido ampliamente estudiados desde mediados del siglo 20, a saber: (a) **el sistema mixto agrícola-ganadero de la pampa húmeda y sub-húmeda**, (b) **el sistema ganadero extensivo de zonas semiáridas**, (c) **el sistema de ganadería de rumiantes en zonas áridas y marginales**, y (d) **las tierras de alto valor ecológico.**

Capítulo 1

Desafíos de la agricultura global y argentina

Fernando H. Andrade

Introducción

La agricultura fue un paso gigante de la humanidad ya que permitió hábitos sedentarios que fomentaron el ocio creativo y la innovación. La producción agrícola aumentó a lo largo de los siglos siguiendo el crecimiento en la demanda de alimentos por parte de la población. El marcado incremento en los rendimientos de los cultivos que se produjo entre 1960 y principios del siglo XXI redujo notablemente la superficie cultivada necesaria por habitante en el mundo de 0,45 a 0,20 ha, lo que se asoció con una caída de los precios de los granos y de la proporción de desnutridos crónicos.

Estos progresos, sin embargo, no estuvieron libres de costos. La agricultura y las actividades humanas en general ocasionan una extralimitación en el uso de los recursos naturales y de la capacidad bioproductiva del planeta. Una extralimitación en el uso de los recursos surge de la convergencia de un rápido crecimiento de la población y de sus actividades económicas, de un límite en la disponibilidad de dichos recursos y de un desfase en la percepción

del problema que causa retrasos en la aplicación de las medidas adecuadas (Meadows et al., 2012).

En este escrito se presentan los desafíos que enfrenta la agricultura. Se indican sus impactos ambientales, se estiman las futuras demandas de alimentos agrícolas y se discuten las maneras de satisfacerlas de manera sostenible. Se analiza, además, la situación de la agricultura argentina extensiva en dicho contexto.

Impacto ambiental de la agricultura

Los efectos negativos de la actividad humana sobre el ambiente son producto de la población, el nivel de consumo por habitante y las tecnologías utilizadas para sostener los consumos globales (Meadows et al., 2012). La huella ecológica, considerando todas las actividades humanas, creció en las últimas décadas sobrepasando la capacidad bioproductiva del planeta (GFW, 2019) y poniendo en riesgo los servicios ecosistémicos (Reid et al., 2005; Armstrong McKay et al., 2022). Estamos traspasando los límites de uso seguro de los recursos planetarios en cuanto a la biodiversidad, el cambio climático, los flujos biogeoquímicos y el cambio de uso de la tierra (Gordon et al., 2017).

Es necesario buscar alternativas de producción, consumo y utilización de materiales, bienes y servicios más sostenibles que las actuales para evitar graves consecuencias para la humanidad.

La producción agropecuaria tiene una alta responsabilidad en el impacto ambiental global, ya que es el destino de la mayor parte de las deforestaciones, origina junto con el cambio de uso de la tierra el 23 % de las emisiones de GEI, utiliza el 70 % de las extracciones de agua azul, es causal de la contaminación con agroquímicos, y ocupa un alto porcentaje de la superficie de tierras libres de hielo (Andrade, 2020). Como tal, la agricultura ha ejercido presión sobre el ambiente comprometiendo los recursos y la futura producción de alimentos en cantidad y calidad.

El notable incremento de la producción evidenciado a lo largo de la historia se produjo principalmente a través de la expansión de la superficie cultivada hasta mediados del siglo XX y del aumento en la intensidad de uso de insumos externos (como fertilizantes, plaguicidas y energía fósil) a partir de mediados del siglo pasado.

La intensificación de la producción agrícola junto con el laboreo excesivo de los suelos y el avance de la frontera agropecuaria originaron problemas de degradación de suelos y hábitats, de excesos hídricos, de contaminación con biocidas, de pérdida de biodiversidad, de emisión de gases de efecto invernadero y calentamiento global, de disponibilidad de agua dulce, de flujo nutrientes a las aguas, entre otros; o sea, de pérdida de servicios ecosistémicos que comprometen la futura seguridad alimentaria (Foley et al., 2011; Merotto et al., 2022; Ripple et al., 2017; IPCC, 2019; Andrade, 2020; Rockström et al., 2020; Cooley et al., 2021; Outhwaite et al., 2022, Zou et al., 2022; Lapola et al., 2023). Estos efectos difieren entre países y regiones (Pellegrini y Fernández, 2018).

El impacto ambiental resultante de la actual actividad agropecuaria marca claramente la necesidad de encontrar maneras más eficientes y sostenibles para alimentar a la población.

El desafío que enfrenta la agricultura es satisfacer las futuras demandas de alimentos en un marco de cambio climático y reducir los efectos ambientales adversos de la actividad agropecuaria, o sea desacoplar la producción del impacto ambiental, a la vez que se garantizan los ingresos y el bienestar de los agricultores (Andrade, 2020; von Braun et al., 2021; Zurek et al., 2022; Wang et al., 2022; Springmann et al., 2018).

Para precisar la magnitud de la tarea que debemos encarar, un primer paso necesario es estimar la futura demanda de productos agrícolas, identificando y cuantificando las distintas variables que la componen.

Futuras demandas

Las demandas de productos agrícolas continuarán creciendo en las próximas décadas debido al aumento de la población y a los cambios en la calidad de la dieta de muchos habitantes.

La tasa de crecimiento poblacional global, que por primera vez cayó por debajo del 1% anual, continuará bajando y llegaría a valores cercanos a cero hacia fines de este siglo (UN, 2022). La población alcanzó los 8000 millones en 2022 y se espera que llegue a 9700 millones en 2050 (UN, 2022). El Covid 19 produjo, temporariamente, una leve reducción adicional de la tasa de crecimiento poblacional global y una caída de la expectativa de vida mundial (UN, 2022). Si bien la tasa de crecimiento poblacional se está reduciendo marcadamente, se espera un incremento poblacional de alrededor del 21 % entre los años 2022 y 2050, con notables diferencias entre continentes y regiones (Tabla 1).

El aumento del poder adquisitivo *per cápita* entre 2019 y 2040 sería de alrededor de 40 % para las naciones más desarrolladas y superaría el 100 % en naciones menos desarrolladas (Vos y Bellu 2019; Gapminder, 2020). En la medida que crece el poder adquisitivo aumenta la demanda de calorías y proteínas de cultivos para alimentación animal y humana (Tilman et al., 2011), lo que se explica, principalmente, por un incremento en el consumo de carne por individuo. Se concluye entonces que la calidad de la dieta alimenticia mejorará a nivel global en las próximas décadas, principalmente en países del este y sur de Asia (Tabla 1).

Tabla 1: Estimaciones de la población, de la demanda per cápita y total de calorías de cultivos para consumo humano y para producción animal (food y feed) en 2050, expresadas en relación con los valores correspondientes al año 2018. Cálculos basados en datos de Tilman et al. (2011) Gapminder (2020) FAO (2020) UN (2019). Ver detalles y supuestos en Andrade (2020).

	Población	Demanda por hab.	Demanda total
	Veces los valores de 2018		
África	1,95	1,15	2,25
América	1,18	1,12	1,33
Asia	1,16	1,31	1,52
Europa	0,95	1,06	1,01
Oceanía	1,38	1,03	1,42
Mundo	1,28	1,15	1,47

Recientes estimaciones indican que la demanda global de alimentos de cultivos crecería 47 % entre 2018 y 2050 (Tabla 1). Considerando un aumento lineal, el incremento requerido para el periodo entre 2022 y 2050 sería de 39 %. Estas proyecciones al 2050 no cambiarán mayormente bajo los supuestos de que la economía y el crecimiento económico mundial se recuperan a los niveles de prepandemia, y los conflictos bélicos con sus consecuentes alzas de precios de energía y alimentos no son duraderos.

Los mayores incrementos corresponden a África que multiplicaría su demanda 2,25 veces debido principalmente a su crecimiento poblacional (Tabla 1). La sigue Asia con un incremento de demanda de productos de cultivos de alrededor de 52 % al año 2050 que se explica en mayor medida por una mejora de la dieta (Tabla 1). Si además se aspira a sustituir importaciones, los incrementos de producción deben ser aún mayores ya que ambos continentes son actualmente netos importadores de alimentos (FAO,

2020). América incrementará su demanda alrededor de 33 % y Europa la mantendrá, con disminución de su población.

La moderación de la dieta y la reducción de las pérdidas y desperdicios de alimentos pueden modificar significativamente los volúmenes de alimentos requeridos hacia el 2050 (UNEP, 2014; Godfray et al., 2018; Xue y Liu, 2019; Andrade, 2020).

Como lograr los aumentos de producción

El incremento global del 47 % requerido se podría alcanzar manteniendo la superficie cultivada, por mejoras del 10 % en los potenciales de rendimiento bajo riego y secano, por incrementos del 25 % en la relación entre los rendimientos reales y los potenciales (Y_r/Y_p) por cierre de brechas y, el resto, por un incremento de 7 % en la producción por mayor proporción de doble cultivos (Tabla 2).

Tabla 2: Combinación de valores de variables de producción agrícola expresados en veces los valores actuales (2018) que cubren los aumentos requeridos de demanda de productos de cultivos (food y feed) hacia el año 2050. Los aumentos de producción se logran a través de incrementos en superficie cultivada, en rendimiento potencial de riego o secano según corresponda (Y_p), en relación entre rendimiento real y potencial (Y_r/Y_p) por cierre de brechas de rendimiento, y de incrementos de producción debidos a la intensificación de la secuencia (cultivos por año). Se presentan los datos para el mundo y sus continentes. Ver detalles de cálculo y supuestos en Andrade (2020).

	Demanda	superficie	Y_p	Y_r/Y_p	Int sec
Veces					
Mundo	1,47	1	1,1	1,25	1,07
África	2,25	1,05	1,1	1,77	1,1
Asia	1,52	1	1,1	1,26	1,1
Europa	1,01	0,92	1,1	1	1

Mantener la superficie cultivada a nivel global (Erb et al. 2016) cumple con los requisitos de no sobrepasar el límite de 1.640 millones de hectáreas propuesto por UNEP (2014) ni el umbral de seguridad indicado por Rockström et al. (2009). Además, la mejora general de 10 % en los potenciales de rendimiento bajo riego y secano es una meta moderada y posible de lograr considerando los efectos del mejoramiento genético y de la biotecnología en la productividad de los cultivos (Fischer et al., 2014; Hall y Richards, 2013). Adicionalmente, los aumentos de 25 % a nivel mundial en la relación entre los rendimientos reales y potenciales son consistentes con los altos valores de brechas observados para muchos cultivos y las posibilidades de reducción de esta variable. Dichos cierres de brechas de rendimiento se pueden lograr por medio de tecnologías de insumos con buenas prácticas agrícolas, pero el énfasis debe estar puesto en aquellas tecnologías que resulten en una mayor productividad de insumos y recursos y menor impacto ambiental. Por último, los aportes a la producción mundial por mayor proporción de doble cultivos o cultivos múltiples (secuenciales e intercultivos) son coherentes con las posibilidades de aplicación de esta tecnología dentro de los límites determinados por la temperatura y las precipitaciones (Wu et al., 2018).

Los niveles de aumento de producción requeridos globalmente constituyen un gran desafío dado los altos volúmenes actuales de producción, el deterioro de los recursos y las amenazas del calentamiento global. Más aún, el 59 % de las cerca de 2.000 millones de personas que se adicionarán a la población mundial entre 2020 y 2050 nacerá en África, lo que sumado a las necesidades de una dieta más adecuada que la proyectada en función del aumento del poder adquisitivo y a los acuciantes problemas ambientales, conforma un escenario muy complejo para este continente. La producción de cultivos de África per cápita se deterioró con la pandemia que significó una caída de 5% en el PBI per cápita (FAO, 2023). La situación es más crítica si se analiza la región subsahariana separadamente.

El uso creciente de agroquímicos, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero, las mayores extracciones de agua y la expansión del área cultivada durante el siglo XXI indican que las metas de reducción de impacto ambiental no se están cumpliendo (Andrade, 2020). Esto debe incentivarnos a redoblar nuestros esfuerzos para alcanzar una producción sostenible.

Intensificación sostenible

En la literatura internacional, muchos expertos hoy coinciden en que los incrementos necesarios de producción y rentabilidad deben lograrse por rendimientos mayores y más estables en las actuales áreas agrícolas, minimizando y revirtiendo el impacto ambiental y utilizando más eficientemente los recursos e insumos. Esto se enmarca en el concepto de intensificación sostenible (Ikerd, 1990; Garnett et al., 2013; Pretty et al., 2018). Para alcanzar estas metas se requiere incrementar la productividad de insumos y recursos, reducir el uso de insumos de síntesis química, rediseñar los sistemas productivos e incorporar la escala de paisaje (Pretty et al. 2018; Cassman y Grassini, 2020; Tittonell, 2018).

Los aumentos de la producción no pueden basarse en la expansión de la superficie cultivada, ya que ésta resulta en pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero, excesos hídricos y exposición de tierras frágiles a procesos de degradación. En consecuencia, los mayores esfuerzos para incrementar la producción deben enfocarse en la intensificación del uso de la tierra a través de tecnologías que permitan, además de satisfacer futuras demandas y requerimientos de alimentos, reducir el impacto ambiental.

La estrategia de producción deberá centrarse en mayor medida en tecnologías de procesos basados en conocimientos y en tecnologías duras como el mejoramiento genético y la biotecnología que a la vez muestran fuertes sinergismos (Andrade, 2020). Otras tecnologías duras novedosas (Ag techs, digitalización del agro) son

promisorias y poseen un gran potencial de interacción con las tecnologías de conocimientos y procesos (Satorre y Andrade, 2021).

En cuanto a los conocimientos, enfatizamos aquellos relacionados con el ambiente, el funcionamiento de los cultivos, la biología de las plagas y las interacciones entre los componentes del sistema. Estos conocimientos son fundamentales para el desarrollo, selección y aplicación de las tecnologías de procesos asociadas con el manejo del suelo, de los cultivos, pasturas y pastizales, las rotaciones, la intensificación en el número de cultivos por año, los cultivos de cobertura, la agricultura por ambientes y de precisión, el manejo integrado de organismos perjudiciales, las buenas prácticas de utilización de insumos y recursos, el manejo de cultivos con bases ecofisiológicas y de los sistemas de producción con base ecológica. Contribuyen, además, a los progresos en el campo del mejoramiento genético y de la biotecnología.

Mayor producción de alimentos y mejores servicios ecosistémicos no son mutuamente excluyentes (Pretty et al., 2018; Fernández et al., 2019). Ambos objetivos pueden lograrse por medio de la aplicación de un conjunto de prácticas o tecnologías enmarcadas de manera sistémica en una estrategia adecuada. Existen distintas aproximaciones para cumplir con los objetivos referidos a una mayor productividad de recursos e insumos y a la sustitución de insumos de síntesis química y de prácticas perjudiciales para el ambiente. Para alcanzar la sostenibilidad, se necesita también del rediseño de los sistemas productivos y de la mirada de paisaje, basados en el aprovechamiento de diferentes procesos e interacciones ecológicas que contribuyan a aliviar o eliminar los problemas aún presentes en las aproximaciones de eficiencia y sustitución (Tittonell et al., 2016; Pretty et al., 2018; Fernández et al., 2019). Lo importante es definir con claridad los objetivos que se desean alcanzar. En este sentido, toda tecnología potencialmente funcional a satisfacer futuras demandas y cuidar el ambiente debe ser considerada y evaluada con rigor científico, moderando emociones y creencias.

Oportunidad y responsabilidad para la agricultura argentina

Argentina tiene una gran responsabilidad en la futura seguridad alimentaria global por sus amplias ventajas comparativas para la producción agropecuaria y agroindustrial. Se estima que el país produce alimento para alrededor de 400 millones de personas. Además, la agricultura tiene una importancia estratégica en la economía argentina y la creciente demanda de productos agropecuarios constituye una gran oportunidad para el desarrollo equitativo de los territorios del país a través de la producción primaria y, principalmente, del agregado de valor y de la agroindustria. El sector agropecuario aporta más del 50 % del valor total de las exportaciones y junto con la cadena de agroprocesamiento tienen una participación importante en el Producto Interno Bruto Nacional (Lema, 2017).

La producción agrícola se ha cuadruplicado en las últimas 6 décadas (agricultura y ganadería) con un incremento anual acumulativo de 3,07 % (Lema, 2017) lo que refleja la elevada capacidad de producción, la pujanza y la innovación del sector, más aún en un contexto de gravámenes netos muy altos a la producción que contrastan con la predominancia global de subsidios (Jobbagy et al., 2021).

Nuestra producción se caracteriza por altos niveles de productividad con bajos niveles de insumos y trabajo. Las brechas entre los rendimientos reales y los potenciales de secano son bajas en comparación con otras regiones del planeta (Tabla 3). El incremento de producción agrícola de las últimas décadas se explica en mayor proporción por un aumento en la productividad total de factores (2,45% anual) que por incrementos en el uso de factores e insumos (tierra, trabajo, capital, fertilizantes, riego, etc.) (0,62% anual) (Lema, 2017).

Argentina es líder mundial en adopción de siembra directa (Tabla 3; Borrelli et al., 2017). Esta tecnología ha frenado pro-

cesos graves de erosión (Casas y Albarracín, 2015) y ha evitado que se siga perdiendo materia orgánica de los suelos, aunque no es seguro que promueva su recuperación. Para ésto, las labranzas reducidas y la siembra directa deben estar acompañadas por otras prácticas como, por ejemplo, adecuadas rotaciones o producciones integradas de agricultura y ganadería (Salvagiotti et al., 2017). No obstante, los efectos de estas prácticas sobre los rendimientos de los cultivos varían en función del ambiente, del manejo y de las condiciones del lote (Pittelkow et al., 2015).

El proceso de agriculturización que se ha producido en el país en las últimas décadas se ha caracterizado por un marcado incremento en el área sembrada de cultivos. La tasa relativa de deforestación de bosque nativo en Argentina es alta en comparación con el valor global (Tabla 3). También se caracterizó por baja diversidad de cultivos con el dominio de la soja y reducida intensificación de la secuencia (cultivos para cosecha por año) (Tabla 3).

El avance de la agricultura y la utilización de secuencias poco intensificadas con dominio del cultivo de soja reducen el consumo anual de agua (respecto a pastizales, pasturas o bosques) lo que genera excesos hídricos y, por lo tanto, erosión en las zonas altas, y ascenso de napas y anegamientos en las áreas bajas (Caviglia et al., 2013; Ojeda et al., 2018; Satorre y Andrade, 2021). La agriculturización y rotaciones inadecuadas con alta proporción de soja (cultivo con bajos aportes de rastrojo de baja relación C/N) también redujeron la materia orgánica de los suelos con consecuencias negativas sobre sus propiedades físicas químicas y biológicas (Fernández et al., 2021) y condujo a incrementos de las emisiones globales de gases de efecto invernadero y a deterioros en el largo plazo de los sumideros naturales de carbono (INTA, 2011; Viglizzo et al., 2011).

Por lo expresado, es necesario reducir la deforestación y utilizar rotaciones más diversificadas e intensificadas. Una mayor diversificación genera ventajas en cuanto a la estabilidad del sistema, cortar ciclo de adversidades bióticas, reducir riesgos, conservar el suelo,

maximizar utilización de recursos, etc. (Thrupp, 2002; Capelli et al., 2022; Caviglia et al., 2023). Además, una mayor cobertura del suelo por parte de cultivos (de granos, de servicios y pasturas) mejora la captura de recursos (agua, radiación, nutrientes) lo que se traduce en menores excesos hídricos (menor erosión, inundación, salinización, contaminación), mayores aportes de carbono al suelo, mayor competencia con las malezas, menores pérdidas de lavado de nutrientes, fijación biológica de nitrógeno, entre otras ventajas (Caviglia et al., 2004, Piñeyro et al., 2014).

El nivel de reposición de nutrientes extraídos por los cultivos es bajo en Argentina a juzgar por los buenos niveles de rendimiento y la baja utilización de fertilizantes en comparación con el promedio global (Tabla 3). Considerando los 6 principales cultivos de granos, la reposición no supera el 60, 40 y 35% de lo exportado para el, fósforo, nitrógeno y azufre, respectivamente, con alta variación entre regiones (García, 2021). Esto se traduce en reducciones de los niveles de materia orgánica y de nutrientes en los suelos en distintas regiones del país (Sainz Rozas et al., 2019) que afectan negativamente sus propiedades. El bajo uso de fertilizantes se asocia principalmente con una corta historia agrícola y los bajos precios al productor. Se requieren, entonces, mayores reposiciones de nutrientes, basadas en uso eficiente de fertilizantes y en principios ecológicos como recirculación de nutrientes, rotaciones, fijación biológica de N, bioinsumos, entre otros (IPNI, 2012; Andrade, 2020).

El uso de plaguicidas se multiplicó muchas veces en nuestro país desde 1960 hasta hoy alcanzando valores superiores a la media mundial, con una alta relación herbicidas/plaguicidas totales (Tabla 3). El glifosato es el compuesto más utilizado. El alto uso de herbicidas se asocia con la práctica de la siembra directa y la utilización de cultivares RR de soja y maíz y con condiciones térmicas e hídricas más favorables para el crecimiento de las malezas que en otros países o regiones. El uso excesivo de plaguicidas generó pro-

blemas de contaminación (Aparicio et al., 2015) y de resistencia de malezas, plagas y enfermedades a biocidas (Merotto et al., 2022). Es necesario reducir el uso de plaguicidas a través de un manejo integrado de las adversidades bióticas incluyendo rotaciones, manejo de la cobertura vegetal del cultivo, tolerancia genética, umbrales de daño, enemigos naturales, bioinsumos, buenas prácticas de aplicación, aplicaciones al blanco, entre otras prácticas.

La proporción de cultivos regados es baja (Tabla 3), a pesar de que el país posee un territorio agrícola con clima predominantemente semiárido a subhúmedo. Un alto porcentaje (75 %) de los aproximadamente 40 km³ de agua azul extraída por año (4-6 % del recurso disponible) corresponde a la agricultura irrigada, valor semejante a la media mundial (Aquastat, 2023). Este recurso se utiliza con baja eficiencia. En algunas ciudades del país y en la región cuyana en particular se observa ya una competencia por el agua azul entre el uso doméstico, industrial y el riego mayormente de cultivos intensivos de los cinturones verdes (Prieto, 2017), por lo que se requiere incrementar la eficiencia de captura y uso del agua verde, y la productividad del agua azul.

Tabla 3: Valores para Argentina y el mundo de deforestación anual relativa a la superficie de bosques nativos (Mónaco et al., 2019; Ripple et al., 2011; FAO, 2023); brechas de rendimiento para los 3 principales cultivos expresadas como porcentaje de los rendimientos reales (Yr) ponderadas por el volumen de producción (Aramburu Merlos et al., 2015; Fischer y Connor, 2018; GYGA, 2023); diversidad general de cultivos (7 principales); relación maíz/soja (FAO, 2023); intensificación de la secuencia referida como la relación entre la superficie total sembrada para cosecha (o cosechada) y la superficie agrícola total (Wu et al. 2018; Satorre y Andrade, 2021); uso anual de fertilizantes de síntesis química y de plaguicidas (p.a.) por ha (FAO, 2023; Montoya Jorgelina Com. Personal); relación de herbicidas/plaguicidas totales (FAO, 2023); porcentaje de la superficie de cultivo que se riega (Aquastat, 2023, Prieto, 2017); y porcentaje de la superficie agrícola bajo agricultura de conservación (Borrelli et al., 2017).

		Mundo	Argentina
Deforestación	% año ⁻¹	0,20	0,42
Brechas de rend	% de Yr	88	58
Diversidad de Cultivos	$1 - \sum (\text{sup relativas})^2$	0,80	0,68
Rel Maíz/Soja	sup sup ⁻¹	1,64	0,43
Intensificación secuencia	cultivos año ⁻¹	1,25	1,13
Plaguicidas	kg-l ha ⁻¹ p.a.	1,81	5,10
Herbicida/plaguicida	kg kg ⁻¹	0,52	0,90
Fertilizantes	Kg ha ⁻¹ N P ₂ O ₅ K ₂ O	129	69
Riego	%	19	5
Siembra directa	%	15,3	90,0

Entre otras externalidades no adecuadamente contempladas por la agriculturización se incluyen las reducciones de biodiversidad y el aumento de los conflictos en la interface urbano-rural por expansión de la agricultura y uso creciente de agroquímicos (INTA, 2011; Manuel-Navarrete et al., 2007, 2009; Carreño et al., 2012).

En síntesis, la intensificación y expansión de la agricultura registrada en la Argentina en las últimas décadas produjo importantes incrementos en el volumen de producción de alimentos, una alta productividad de factores, y significativos impactos sobre el ambiente que pueden comprometer la futura producción y la capacidad del paisaje rural de proveer otros servicios ecosistémicos fundamentales (Andrade et al., 2017). Pero se están dando progresos.

La tasa de deforestación de bosques nativos se redujo de 0,94%/año en el 2007 a 0,42%/año en el 2018, aunque aumentó desde el 2015 (Mónaco et al., 2019). La reposición de nutrientes, la superficie bajo siembra directa, la diversidad de cultivos en la rotación y la intensificación de la secuencia mejoraron entre 2003 y 2018 (Satorre y Andrade, 2021). La reposición de nutrientes se incrementó

40% y la superficie bajo siembra directa creció 33%. La relación de superficie sembrada de maíz vs soja casi se duplicó y la superficie de dobles cultivos se incrementó 55%. En concordancia con esta información, un índice que combina diversidad de cultivos e intensificación de la secuencia denominado Intensificación Agrícola Diversificada; $IAD = [1 - (\sum (\text{superficies relativas sembradas por cultivo})^2)] \times (\text{superficie sembrada total} / \text{superficie agrícola total})$ mejoró de 0,68 a 0,92 entre 2010 y 2021 (Mercau y Cirilo, 2022).

También se produjeron progresos en el uso de cultivos de cobertura, plaguicidas menos tóxicos y menos persistentes, agricultura por ambientes y de precisión, aplicación de herbicidas al blanco y otras Agtechs o tecnologías digitales (Satorre y Andrade, 2021).

Estas mejoras son significativas, pero no suficientes para alcanzar el objetivo de satisfacer demandas y reducir el impacto ambiental. En síntesis, la transformación de la agricultura requiere de nuestras capacidades inherentes de innovación y colaboración para i) incrementar los rendimientos y su estabilidad frente a escenarios con mayor variabilidad climática y frecuencia de eventos extremos y aumentar la productividad de recursos e insumos, a través del mejoramiento genético, la biotecnología y el manejo de los cultivos, ii) diversificar las especies y cultivares en el tiempo y espacio, iii) intensificar la secuencia, iv) reducir el uso de plaguicidas, v) recuperar la fertilidad de los suelos, vi) frenar la deforestación y la pérdida de hábitats y servicios ecosistémicos, vii) preservar la biodiversidad y aprovechar los sinergismos entre sus componentes, viii) proteger los suministros de agua dulce, ix) frenar la degradación de tierras con técnicas de agricultura conservacionista y promover su recuperación, x) generar condiciones del suelo favorables para las plantas, xi) mitigar las emisiones de gases de efecto invernadero de la agricultura incrementando el secuestro de carbono en los suelos y en la biomasa, xii) promover la agricultura circular y la mirada de paisaje, entre otras acciones (Andrade, 2020). Estos aspectos se profundizan y discuten en los siguientes capítulos.

Referencias

- Andrade, F., Taboada, M., Lema, D., Maceira, N., Echeverría, H., Posse, G., Prieto, D., Trumper, E., et al. (2017). Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. 120 p.
- Andrade, F. (2020). Los desafíos de la agricultura global. Ediciones INTA. 250 p.
<https://repositorio.inta.gob.ar/handle/20.500.12123/9137>
- Aparicio, V., De Gerónimo, E., Hernández Guijarro, K., Pérez, D., Portocarrero, R., & Vidal, C. 2015. Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. INTA Ediciones. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. 74 p.
- Aquastat. (2023). Food and Agriculture Organization, AQUAS-TAT. (Disponible: www.fao.org/nr/water/aquastat/didyouknow/index2.stm). Febrero, 2023.
- Aramburu Merlos, F., Monzon, J., Mercáu, J., Taboada, M., Andrade, F., Hall, A., Jobbagy, E., Cassman, K., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184: 145-154.
- Armstrong McKay, D., Staal, A., Abrams, J., et al. (2022). Exceeding 1.5 C global warming could trigger multiple climate tipping points. *Science* 377: 6611. DOI: 10.1126/science.abn7950
- Borrelli, P., Robinson, D., Fleischer, L., et al. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land use change on soil erosion. *Nat Commun* 8, #2013.
<https://doi.org/10.1038/s41467-017-02142-7>
- Cappelli, S., Domeignoz-Horta, L., Loaiza, V., & Laine, A. (2022). Plant biodiversity promotes sustainable agriculture directly and via belowground effects. *Trends in Plant Science* 27: 674-687
<https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.02.003>.

- Carreño, L., Frank, F., & Viglizzo, E. (2012). Tradeoffs between economic and ecosystem services in Argentina during 50 years of land-use change. *Agr Ecosyst Environ* 154:68-77.
- Casas, R., & Albarracín, M. (2015). El Deterioro del Suelo y del Ambiente en la Argentina. PROSA. Centro para la Promoción de la Conservación del Suelo y del Agua. Editorial FECIC. Buenos Aires. p. 608.
- Cassman, K., & Grassini, P. (2020). A global perspective on sustainable intensification research. *Nature sustainability* 3: 262-268.
- Caviglia, O., Sadras, V., & Andrade, F. (2013). Modelling long-term effects of cropping intensification reveals increased water and radiation productivity in the south-eastern Pampas. *Field Crops Res.* 149: 300-311.
- Caviglia, O., Sadras, V., & Andrade, F. (2004). Intensification of agriculture in the south-eastern Pampas. I. Capture and efficiency in the use of water and radiation in double-cropped wheat–soybean. *Field Crops Res.* 87: 117-129.
- Caviglia, O., Rizzalli, R., & Andrade, F. (2023). El maíz y la intensificación sostenible. Capítulo 14 en F. Andrade, M. Otegui, A. Cirilo y S. Uhart (Eds.). *Ecofisiología y manejo del cultivo de maíz*. Maizar.
- Cooley, S., Ryan, J., & Smith, L. (2021). Human alteration of global surface water storage variability. *Nature* 591, 78-81. <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03262-3>
- Erb, K., et al. (2016). Exploring the biophysical option space for feeding the world without deforestation. *Nat Commun* 7, 11382. <https://doi.org/10.1038/ncomms11382>
- FAO. (2020). Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO Statistical Database. (Disponible: <http://www.fao.org/>). Julio 2020.

- FAO. (2023). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Statistical data set. Disponible: <http://www.fao.org/>. Enero, 2023.
- Fernández, R., Rush, P., & Plencovich, M. (2019). Agroecología y agricultura industrial: ¿dos culturas irreconciliables? *Rev. Facultad de Agronomía UBA* 39: 69-84.
- Fernández, R., Belmonte, V., Quiroga, A., Lobartini, C., & Noelle-meyer, E. (2021). Land-use change affects soil hydro-physical properties in Mollisols of semiarid Central Argentina. *Geoderma Regional* 25: e00394.
- Fischer, T., Byerlee, D., & Edmeades, G. (2014). Crop yields and global food security. Will yield increase continue to feed the world? *ACIAR Monograph N.o 158*. Australian Centre for International Agricultural Research. Canberra. 634 p.
- Fischer, R.; & Connor, D. (2018). Issues for cropping and agricultural science in the next 20 years. *Field Crops Res.* 222: 121-142.
- Foley, J., Ramankutty, N., Brauman, K., et al., 2011. Solutions for a cultivated planet. *Nature* 478: 337-342.
- Gapminder. (2020). (Disponible: www.gapminder.org/data/). Julio 2020.
- Garcia, F. (2021). Balances y uso de nutrientes en Argentina. *Nuestro Suelo* 6:15-16. Asociación Argentina de Ciencia del Suelo. https://www.suelos.org.ar/sitio/wp-content/uploads/2021/nuestro_suelo/Nuestro_Suelo-6.pdf
- Garnett, T., et al. (2013). Sustainable Intensification in Agriculture: Premises and Policies. *Science* 341: 33-34.
- GFW. (2019). Global Forest Watch. World Resource Institute. (Disponible: <https://blog.globalforestwatch.org/data-and-research/>). Abril 2020.

- Godfray, H., et al. (2018). Meat consumption, health, and the environment. *Science* 361: 243.
- Gordon, L., et al. (2017). Rewiring food systems to enhance human health and biosphere stewardship. *Environ. Res. Lett.* 12. 100201.
- GYGA. (2023). Global yield gaps Atlas. Yieldgap.org. University of Nebraska, University of Wageningen.
- Hall, A., & Richards R. (2013). Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops. *Field Crops Research* 143: 18-33.
- Hunter, M., et al. (2017). Agriculture in 2050: Recalibrating Targets for Sustainable Intensification. *BioScience* 67: 386-391.
- Ikerd, J. (1990). Agriculture's search for sustainability and profitability. *J. Soil Water Cons.* 45: 18-23.
- INTA. (2011). Ejes Conceptuales para un posicionamiento institucional ante el fenómeno de la soja como principal componente del proceso de agriculturización. Documento Interno del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. 81 p.
- IPCC. (2019). Climate change and land. Special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Summary for policymakers. International Panel on Climate Change.
- IPNI. (2012). 4R Plant Nutrition Manual: A Manual for Improving the Management of Plant Nutrition, en: T.W. Bruulsema; P.E. Fixen; G.D. Sulewski (ed.), International Plant Nutrition Institute. Norcross, GA, EE. UU.
- Jobbagy, E., Aguiar, S., Pineiro, G., & Garibaldi, L. (2021). Impronta ambiental de la agricultura de granos en Argentina: revisando desafíos propios y ajenos. *Ciencia Hoy* 29: 35-44.

- Lancet Commissions. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT–Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. Elsevier Ltd. 47 p. (Disponible: www.thelancet.com). Marzo 2020.
- Lapola, D., et al. (2023). The drivers and impacts of Amazon forest degradation. *Science* 379: 6630.
- Lema, D. (2017). Capítulo 2. Evolución y perspectiva de la producción y de la productividad agropecuaria. En: Andrade, F. (Ed.). Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental. Ediciones INTA. 120 p.
- Luby, I., Miller, S., & Polasky, S. (2022). When and where to protect forests. *Nature* 609: 89–93.
<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05096-z>
- Manuel-Navarrete, D., & Gallopín, G. (2007). Integración de políticas, sostenibilidad y agriculturización en la pampa argentina y áreas extrapampeanas. CEPAL. Serie Seminarios y conferencias n.º 50. Naciones Unidas. Santiago de Chile. pp. 1-34.
- Manuel-Navarrete, D., et al. (2009). Multi-causal and integrated assessment of sustainability: the case of agriculturization in the Argentine Pampas. *Environment, Development and Sustainability* 11: 621-638.
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2012). Los límites del crecimiento. Tauros. Buenos Aires. 424 p.
- Mercau, J., & Cirilo, A. (2022). Índice de Intensificación Agrícola Diversificada (IAD) en Argentina. Informe Técnico Interno de INTA.
- Merotto, A., et al. (2022). Herbicide use history and perspective in South America. *Adv. Weed Sci.* 40 (Spec1):e020220050.
- Mónaco, M., P. Peri, et al. 2019. Causas e impactos de la deforestación de los bosques nativos de Argentina y propuestas de desarro-

- llo alternativas. Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible de Argentina. 59 p.
- Ojeda, J., Caviglia, O., Agnusdei, M., & Errecart, P. (2018). Forage yield, water and solar radiation-productivities of perennial pastures and annual crops sequences in the south-eastern Pampas of Argentina. *Field Crops Res.* 221: 19-31.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.02.010>.
- Outhwaite, C., McCann, P., & Newbold, T. (2022). Agriculture and climate change are reshaping insect biodiversity worldwide. *Nature* 605: 97-102.
<https://doi.org/10.1038/s41586-022-04644-x>
- Pellegrini, P., & Fernández, R. (2018). Crop intensification, land use, and on-farm energy-use efficiency during the worldwide spread of the green revolution. *PNAS* 115: 2335-2340.
- Piñeiro, G., Pinto, P., Arana, S., Sawchik, J., Diaz, J., Gutierrez, F., & Zarza, R. (2014). Cultivos de servicio. Integrando la ecología con la producción agrícola. *Actas XXVI Reunión argentina de Ecología*. Comodoro Rivadavia, Argentina.
- Pittelkow, C., et al. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field Crops Res.* 183:156-168.
- Pretty, J., et al. (2018). Global assessment of agricultural system redesign for sustainable intensification. *Nature Sustainability* 1: 441-446.
- Prieto. (2017). Capítulo 3.3. Uso del agua. En: Andrade F. (Ed). *Los desafíos de la agricultura argentina. Satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*. Ediciones INTA.
- Reid, W.; H. Mooney; A. Cropper. 2005. Evaluación de los Ecosistemas del Milenio. Informe síntesis.
<http://millenniumassessment.org/documents/document.439.aspx.pdf>

- Ripple, W., Wolf, C., Newsome, T., Galetti, M., Alamgir, M., Crist, E., Mahmoud, M., Laurance, W., & 15364 scientist signatories from 184 countries. (2017). World Scientists' Warning to Humanity: A Second Notice. *BioScience* 67: 1028-1028.
- Rockström, J., et al. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature* 461: 472-475.
- Rockström, J., Edenhofer, O., Gaertner, J., & DeClerck, F. (2020). Planet-proofing the global food system. *Nature Food* 1: 3-5.
- Sainz Rozas, H., Eyherabide, M., Larrea, G., Martínez Cuesta, N., Angelini, H., Reussi Calvo, N., & Wyngaard, N. (2019). Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. *Actas Simposio Fertilidad 2019*: 141-158.
- Salvagiotti, F.; Krüger, H., & Studdert, G. (2017). Ensayos de larga duración en Argentina: Un aporte al logro de sistemas agrícolas sustentables. Ediciones INTA, Buenos Aires. Argentina.
- Satorre, E., & Andrade, F. (2021). Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Ciencia Hoy* 29: 19-27.
- Smith, P. (2013). Delivering Food Security without Increasing Pressure on Land. *Global Food Security* 2: 18-23.
- Springmann, M., et al. (2018). Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature* 562: 519-525.
- Thrupp, L.A. (2002). Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. *Int. Aff.* 76: 283-297.
<https://doi.org/10.1111/1468-2346.00133>.
- Tilman, D., Balzer, C., Hill, J., & Befort, B. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. *PNAS* 108: 20260-20264.

- Tittonell, P., et al. (2016). Ecological Intensification: Local innovation to address global challenges. En: Lichtfouse, E. (Ed). Sustainable Agriculture Reviews 19. Springer, Cham.
- Tittonell, P. (2018). Chapter 13. Ecological Intensification of Agriculture. En: Agriculture & Food Systems to 2050. (Disponible: www.worldscientific.com). Marzo 2020.
- UN. (2019). United Nations Population division. World population prospects. The 2019 revision. (Disponible: <http://www.un.org/esa/population/>). Marzo 2020.
- UN. (2022). United Nations Population division. World population prospects. The 2022 revision. (Disponible: <http://www.un.org/esa/population/>). Enero, 2023.
- UNEP. (2014). Assessing global land use: balancing consumption with sustainable supply. En: Bringezu, S.; et al. (eds.). A report of the Working Group on Land and Soils of the International Resource Panel. United Nations Environmental Programme. UNEP.
- Viglizzo, E., Frank, F., Carreño, L., Jobbagy, E., Pereyra, H., Clatt, J., Pince, D., & Ricard, M. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959-973.
- von Braun, J., Afsana, K., Fresco, L., & Hass, M. (2021). Food systems: seven priorities to end hunger and protect the planet. *Nature* 597: 28-30.
- Vos, R., & Bellu, L. (2019). Capítulo 2. Global Trends and Challenges to Food and Agriculture into the 21st Century. Sustainable food and agriculture. FAO, Elsevier Inc.
- Wang, G., Shi, R., Mi, L., & Hu, J. (2022). Agricultural Eco-Efficiency: Challenges and Progress. *Sustainability* 14: 1051. <https://doi.org/10.3390/su14031051>

- Wu, W., Yu, O., You, L., Chen, K., Tang, H., & Liu, J. (2018). Global cropping intensity gaps: Increasing food production without cropland expansion. *Land Use Policy* 76: 515-525.
- Xue, L., & Liu, G. (2019). Chapter 1. Introduction to global food losses and food waste. En: Galanakis, C.M. (Ed.). *Saving Food. Production, supply chain, food waste and food consumption*. Academic Press. Elsevier.
- Zou, T., Zhang, X., & Davidson, E. (2022). Global trends of cropland phosphorus use and sustainability challenges. *Nature* 611, 81-87. <https://doi.org/10.1038/s41586-022-05220-z>
- Zurek M., Hebinck, A., & Selomane, O. (2022). Climate change and the urgency to transform food systems. *Science* 376: 1416-1421. DOI: 10.1126/science.abo2364

Capítulo 2

Conservación de suelos: hacia la implementación de modelos de intensificación agropecuaria sustentable

Roberto R. Casas

El Problema

El suelo constituye un sistema vital de la más alta importancia, bajo la sola consideración de que la mayor parte de la producción alimentaria requerida por la población mundial en continuo crecimiento depende de ellos (López Falcón, 2000). La agricultura utiliza actualmente el 11 por ciento de la superficie terrestre del mundo para la producción de cultivos. También hace uso del 70 por ciento del agua total extraída de los acuíferos, ríos y lagos. Los sistemas de tierras y aguas que sustentan muchos sistemas fundamentales de producción alimentaria en el mundo, están sometidos a la presión de una demanda sin precedentes previniéndose que el cambio climático agrave esa presión en algunas zonas productivas decisivas. Se estima que el 33 % de la tierra a escala mundial se encuentra de moderada a altamente degradada debido a la erosión, salinización, compactación, acidificación y la contaminación química de los suelos (FAO, 2011).

Surge entonces la principal pregunta: bajo distintos contextos, ¿será posible alimentar a la humanidad y bajo qué coste medioam-

biental ?. Los principales trabajos concluyen que ninguna solución de forma única evitará una degradación irreversible de los recursos naturales del sistema planetario, sino que será necesaria una acción conjunta que incluya la mejora de los sistemas de producción y también una transformación de la demanda (Springmann et al., 2018, Lassaletta et al., 2019).

Tal lo consignado, la demanda mundial de alimentos continuará creciendo, situación que impone a la Argentina la necesidad de incrementar la producción agropecuaria, lo cual significará una creciente presión sobre los recursos naturales, principalmente el suelo. Los principales procesos degradatorios que afectan a los suelos productivos de la Argentina, son la erosión hídrica y eólica, pérdida de materia orgánica, agotamiento de nutrientes, deterioro de la condición física, salinización, alcalinización, acidificación y pérdidas de biodiversidad. La contaminación difusa y puntual y el sellado por urbanizaciones que conduce a la pérdida de tierra fértil, aparecen como amenazas a futuro que se deberán enfrentar. Debe considerarse que todos estos procesos se agravarán en el contexto del cambio climático global.

En el presente capítulo, se pondrá especial énfasis en los procesos de erosión tanto hídrica como eólica que sufren los suelos de una vasta porción de nuestro país, por las consecuencias económicas, sociales y ambientales negativas que ocasionan. La erosión del suelo es el principal problema que compromete la sustentabilidad de los sistemas productivos al provocar la degradación permanente del recurso. En vastas regiones de la Argentina se viene observando con preocupación una reactivación de los procesos de erosión, producto principalmente de los cambios producidos en el uso del suelo, la simplificación o falta de rotaciones y el sobrepastoreo en regiones secas. El proceso de intensificación agrícola y expansión hacia ecosistemas de mayor fragilidad también está provocando la degradación y agotamiento de la fertilidad de los suelos, la pérdida de recursos genéticos, biodiversidad y servicios ambientales, una menor eficiencia en la

captación y almacenamiento del agua de lluvia y un incremento de la desertificación. Estos procesos son particularmente importantes en las regiones semiáridas y áridas de la Argentina.

Un 32% del territorio de la Argentina está afectado actualmente por el proceso de erosión hídrica, lo cual equivale a una superficie de 88.727.830 has. De ese total, hay 62.194.524 has afectadas por un grado ligero-moderado y 26.533.420 has por grado severo-grave (Casas et al., 2022). La erosión eólica, afecta un total de 104.482.002 has lo cual representa un 37% de la superficie del territorio nacional (Figuras 1 y 2), (Casas et al., 2022).

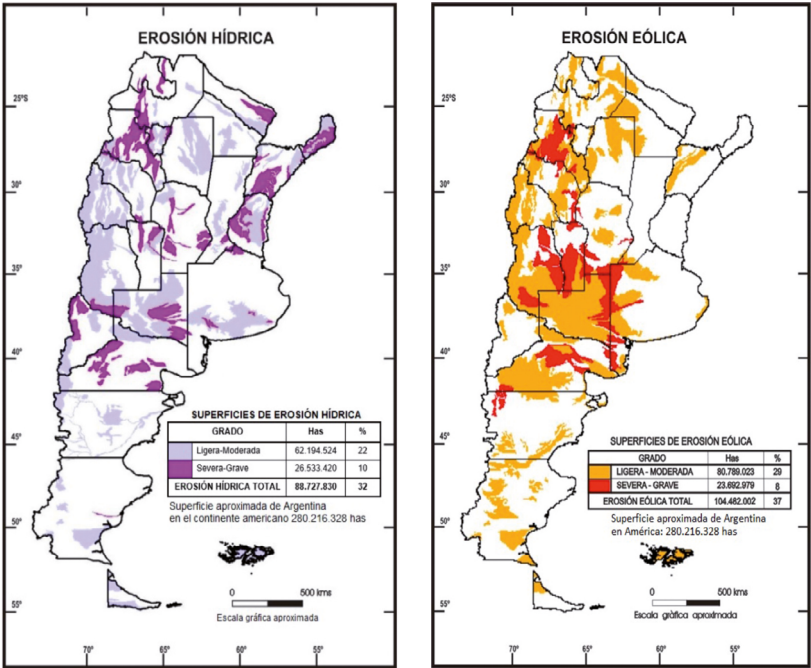


Figura 1: Mapa de superficies afectadas por la erosión hídrica y erosión eólica en la República Argentina, en grados ligera-moderada y severa-grave. Evaluación correspondiente al año 2022.

En relación a estimaciones y cuantificaciones realizadas en años anteriores, se observa un incremento del área afectada por erosión hídrica en función de la intensificación agrícola y la expansión de la agricultura hacia ecosistemas de mayor fragilidad. Un análisis de los factores causales de los procesos erosivos de origen antrópico, permite comprobar que los más importantes a nivel nacional son los siguientes: i) simplificación de la rotación de cultivos y monocultivo; ii) desmonte y expansión de la frontera agrícola iii) sobrepastoreo y ii) cambio de uso del suelo. En un segundo grupo, pero también de importancia para varias regiones, se consignan a los incendios de bosques y pastizales, las labranzas inadecuadas, la escasa adopción de tecnología conservacionista, y la actividad petrolera, esta última debido principalmente al efecto negativo sobre la cobertura del suelo de caminos, picadas, locaciones petroleras, ductos y residuos contaminantes propios de la actividad (Casas, 2015). Una mención especial merece el manejo deficiente del riego en oasis, que ya sea por excesos en las láminas de agua aplicadas o por sistemas de drenaje deficientes, están provocando la salinización y sodificación de alrededor de 630.000mil hectáreas (Sanchez et al., 2015).

Implicancias

Intensificación y expansión de la agricultura en la Región Pampeana

La región pampeana constituye la principal región productiva de productos de origen agropecuario del país. En esta región, el proceso de agriculturización y el abandono de la rotación de cultivos, ha generado consecuencias negativas en el incremento de la erosión de los suelos, compactación, balance de la materia orgánica, en la fertilidad y la eficiencia hídrica. Estos procesos, que interactúan entre sí, determinan la disminución de la productividad de los suelos. Un estudio efectuado por Irurtia & Mon (2000) en el área núcleo Pampeana determinó que para

los cultivos de soja y maíz se registran pérdidas de rendimientos cercanas al 20% en suelos con erosión moderada, mientras que estas pérdidas superan el 50% cuando la erosión es grave.

En la Provincia de Buenos Aires, en las tres últimas décadas se ha registrado una mayor intensidad del uso agrícola del suelo. La falta de rotaciones, la tercerización del uso del suelo a manos de contratistas y la desmedida demanda de rastrojos por parte de la ganadería concentrada, han contribuido a la presencia de un nuevo escenario en donde los procesos de degradación del suelo tales como erosión, compactación, disminución de la fertilidad y afectación de la dinámica hídrica se han incrementado (Sfeir, 2015). En la Provincia de Santa Fe, las cuencas hidrográficas con mayores signos de erosión hídrica están ubicadas en la Pampa Ondulada, al Sur de la provincia (Bonel, et al., 2015). En la Provincia de Córdoba, en la región central del país, el cambio e intensificación del uso del suelo en ambientes frágiles, y la simplificación de las rotaciones y monocultivo de soja, contribuyeron a incrementar el proceso erosivo (tanto hídrico como eólico) (Cisneros et al., 2015).

En la Provincia de Entre Ríos los procesos de erosión hídrica se manifiestan con mayor intensidad en la mitad occidental, en el extremo Sudoeste de la provincia y en parte del sector Sudeste. Alrededor del 60% de la provincia es susceptible a la erosión en algún grado: esto significa que alrededor de cuatro millones y medio de hectáreas pueden erosionarse y por lo tanto deben ser manejadas teniendo en cuenta esa limitante (Sasal et al., 2015).

En la Provincia de La Pampa, actualmente la erosión hídrica posee mayor magnitud en la zona central, ocupada por bosques de Caldén. Es aquí donde existe más presión de la agricultura para efectuar desmontes y transformar sistemas silvopastoriles extensivos en agrícolas para cultivos de cosecha (Buschiazzo et al., 2015).

El proceso de desertificación en tierras secas

Las regiones áridas y semiáridas del país cubren el 75 por ciento del territorio con ecosistemas frágiles proclives a la desertificación. Estas regiones, que abarcan el Noroeste, Oeste y Sur del territorio, poseen un 10 por ciento de su superficie afectada con un grado de desertificación muy grave y un 60 por ciento con un grado de moderado a grave (Casas, 2017). La población urbana y rural establecida en la región árida y semiárida es aproximadamente el 30 % del total nacional.

La problemática de la desertificación tiene implicancias complejas y requiere de políticas adecuadas. Las escasas alternativas productivas, el ausentismo, los problemas de comercialización y el aislamiento entre otros, generan pobreza y migración, factores que a su vez incrementan la desertificación.

Expansión de la agricultura mediante la deforestación de bosques nativos

El bosque chaqueño occidental, que ocupa en la Argentina la mayor parte de las áreas de desmonte en las provincias de Salta, Formosa, Tucumán, Chaco, Santiago del Estero y Córdoba, ha sufrido un intenso proceso de degradación por la acción antrópica a través del desmonte irracional y el mal uso de las tierras habilitadas, que generalmente no han respetado la aptitud de las mismas. La expansión de la frontera agropecuaria a zonas marginales ha tenido fuertes implicancias sobre la degradación de los recursos naturales, con pérdidas cuantiosas de biodiversidad.

El proceso de expansión agrícola se ha producido por diversos frentes localizados principalmente en los bordes del Chaco Subhúmedo Occidental (conocido como Chaco Salteño o Umbral al Chaco) donde las tasas de expansión de cultivos y deforestación han sido las más altas registradas en el país en décadas recientes (Viglizzo y Frank, 2015). En este contexto aparecen como temáticas muy sensibles la simplificación del paisaje, la pérdida de di-

versidad biológica, la fragmentación de ambientes y de hábitat y la degradación de los suelos (Casas y Puentes, 2009). A partir del 2010 se produjo una disminución significativa de la tasa de deforestación atribuible principalmente a la aplicación de la ley 26.331 (sancionada en el año 2007) sobre Protección Ambiental de los Bosques Nativos (Vazquez Amábile y Magnasco, 2018).

Salinización y sodificación de suelos en áreas de regadío

De acuerdo a los datos disponibles, la superficie nacional bajo riego se mantuvo estancada alrededor del 1.500.000 ha por 25 años y se incrementó casi en 30% en los últimos años hasta alcanzar las 2.000.000 ha (Prieto Garra et al., 2015). El riego adquiere gran importancia en casi la mitad de las provincias argentinas y en particular, como no podía ser de otra manera, en las situadas en la región árida del país. Las provincias con mayor superficie irrigada son Mendoza, Buenos Aires, Salta, Santiago del Estero, Córdoba, Jujuy, San Juan, Río Negro, Entre Ríos y Corrientes.

Entre los impactos ambientales negativos del riego, la salinización y la sodificación de los suelos son los más comunes e importantes, aunque hay otros como anegamiento por problemas de drenaje (INTA, 1986). Un relevamiento expeditivo para todas las provincias con excepción de Misiones y Tierra del Fuego de las áreas con afectación salina y/o sódica, consignó una superficie afectada de 630.000 ha (Sanchez et al, 2015).

Estrategias

Frente a la situación descripta se impone diseñar una estrategia a nivel nacional para cuidado del suelo y del ambiente basada en cuatro ejes estrechamente vinculados: i) evitar la degradación de los suelos mediante la aplicación de buenas prácticas (con énfasis en el control de la erosión y el incremento del almacenamiento de carbono orgánico del suelo); ii) implementación de modelos de intensificación agropecuaria

sustentable que eviten la conversión de nuevas tierras situadas en ambientes frágiles, iii) implementación de un Programa Nacional de Conservación de Suelos y iv) Aplicación de Legislación Conservacionista.

Aplicación de buenas prácticas

Según un estudio realizado por PROSA - FECIC en 2019, existen actualmente unas 2,5 millones de hectáreas protegidas por prácticas para el control de la erosión hídrica, de las cuales 1,4 millones corresponden a terrazas, y 1,1 millones a cultivos en curvas de nivel, canales de desagüe, canales de guarda y control de cárcavas. Resulta destacable la tarea de lucha contra la erosión que vienen realizando las Provincias de Entre Ríos, Córdoba, Salta y Tucumán, con intervención del INTA, Universidades y Organismos Provinciales (PROSA – FECIC, 2019).

En el Cuadro I se consigna una estimación de la superficie protegida con buenas prácticas de conservación del suelo y del agua a nivel nacional (Casas y Damiano, 2019)

Práctica	Superficie (has)
Control de Erosión Hídrica (terrazas, cultivo en contorno, control de cárcavas, canales de guarda, canales de desagüe)	2.500.000
Control de Erosión Eólica (revegetación de áreas degradadas, cultivo en franjas, control y estabilización de médanos y dunas)	300.000
Siembra Directa	26.000.000
Gestión del Pastizal Natural (evaluación forrajera y ajuste de carga, pastoreo rotativo, fuego y rolado, potreros de reserva, clausuras)	19.100.000
Sistemas Silvopastoriles (siembra de megatérmicas, rolado selectivo de baja intensidad, enriquecimiento del bosque nativo)	7.200.000
Manejo de Áreas Anegadizas y Mallines (sistematización superficial, biodrenaje forestal, drenes topo, canales abiertos)	1.000.000
Control de Salinidad (forrajeras tolerantes, manejo adecuado del pastoreo)	300.000
Cosecha de Agua y recarga de acuíferos	1.000.000

Cuadro I: Superficie protegida con buenas prácticas de conservación del suelo y del agua a nivel nacional (Casas y Damiano, 2019; Manual de Buenas Prácticas de Conservación del Suelo y del Agua en Áreas de Secano. FECIC).

Es destacable el avance que han registrado los sistemas silvo-pastoriles en el país, efectuando un uso integrado y sustentable del recurso forestal y la producción ganadera. Se estima que alrededor de 7,2 millones de hectáreas están empleando sistemas silvopastoriles constituyendo un modelo de agricultura “climaticamente inteligente” que combina aumento de productividad, resiliencia al cambio climático y reducción de los gases de efecto invernadero. La gestión del pastizal natural en los sistemas ganaderos también ha registrado avances muy importantes en los últimos años, apuntando a la sustentabilidad del agrosistema, muy especialmente en las zonas áridas y semiáridas de mayor fragilidad. Existen actualmente unas 19,1 millones de hectáreas gestionadas con prácticas de evaluación forrajera y ajuste de carga, pastoreo rotativo, potreros de reserva y clausuras.

Hacia la implementación de modelos de intensificación agropecuaria sustentable

La intensificación agropecuaria sustentable consiste en realizar un uso más completo y eficiente de los recursos naturales, produciendo mayor cantidad de biomasa por unidad de superficie, minimizando el impacto sobre el ambiente. Se focaliza en el aumento de la productividad mediante la aplicación de tecnología, más que en la habilitación de nuevas tierras. Para la implementación de estos modelos se consideran los siguientes aspectos: cierre de brechas productivas, rotación de cultivos de mayor intensidad, incremento del carbono orgánico del suelo, y evitar conversiones inadecuadas del uso del suelo.

En las tierras destinadas actualmente a la agricultura se impone cerrar las brechas productivas mejorando el manejo general de los suelos y la reposición de nutrientes, que en la actualidad alcanza solamente un 38 (Casas y Cruzate, 2021). Resulta de fundamental importancia implementar rotaciones de cultivos de mayor intensidad, que mantengan cubierto el suelo la mayor parte posible del año e incrementen el almacenamiento de carbono orgánico en el suelo. Fotosintetizando en forma continua, las plantas generan biomasa aérea y subterránea que protege al suelo e incorpora carbono orgánico.

En las áreas de bosque nativo, es importante evitar el desmonte de tierras ya que se trata de ambientes frágiles de baja resiliencia. Debe considerarse que el desmonte modifica la dinámica horizontal y vertical del agua con impacto sobre la infiltración, evapotranspiración, profundidad de la capa freática y escurrimiento superficial. También se modifica la provisión de servicios ecosistémicos tales como la protección contra la erosión, captura de carbono, control de la salinidad y conservación de la biodiversidad. En estos ambientes se impone la aplicación de sistemas silvopastoriles que compatibilicen el uso forestal con el ganadero.

Se debe aplicar muy cuidadosamente la legislación vigente sobre uso del suelo en ambientes vulnerables, que efectúa una valoración creciente de los servicios ambientales que prestan bosques nativos, pastizales y humedales. Esto se lograría migrando hacia modelos de intensificación sustentable de la producción agropecuaria basados en el incremento de la productividad y mantenimiento de la calidad ambiental, dejando de avanzar sobre nuevas tierras.

Implementación de un Programa Nacional de Conservación de Suelos

Actualmente, siguiendo el enfoque que los países han manifestado en ámbitos multilaterales como la Organización de las Nacio-

nes Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la Carta Mundial de Suelos, la Alianza Mundial por el Suelo y las Directrices Voluntarias para la Gestión Sostenible de los Suelos, es preciso avanzar en aspectos de gobernanza de los suelos para hacer frente a las problemáticas señaladas (FAO, 2015, 2017, 2023).

Atendiendo estas necesidades, en el año 2018 en la órbita del entonces Ministerio de Agroindustria, por Resolución 232 se creó el Plan Nacional de Suelos Agropecuarios con el objetivo de promover la conservación, restauración y manejo sostenible de los suelos. Resulta importante consignar las expresiones vertidas en los considerandos de la mencionada resolución porque resumen de manera precisa lo que debería constituir la visión de los sucesivos gobiernos para establecer políticas públicas en materia de conservación de suelos. La resolución expresa “Que es deber del ESTADO NACIONAL favorecer la conservación de los suelos generando condiciones que permitan la aplicación de buenas prácticas agropecuarias priorizando la sustentabilidad” y “Que deben propiciarse los instrumentos de política pública a fin de amparar los suelos argentinos considerados como un recurso natural estratégico, limitado y no renovable, sobre el cual, tanto la CONSTITUCIÓN NACIONAL como el conjunto de la normativa vigente establecen el deber de preservarlo”.

Vale la pena repasar los principales objetivos del Plan Nacional de Suelos Agropecuarios por considerarlos totalmente vigentes y pertinentes en cuanto a una acción integral por parte de los estados Nacional y Provinciales para fomentar e implementar sistema conservacionistas en el país. Los objetivos son los siguientes: a) Fortalecer las capacidades institucionales en todos los niveles para la conservación, restauración y manejo sostenible de los suelos agropecuarios; b) Fomentar la adopción de buenas prácticas de suelos para su conservación, restauración y manejo sostenible, atendiendo a la provisión de los servicios ecosistémicos que otorgan; c) Fomentar sistemas productivos que tiendan a maximizar

la productividad en forma sostenible; d) Proveer al desarrollo de oportunidades y herramientas de mercado como política para la conservación, recuperación y manejo sostenible de los suelos agropecuarios y sus servicios ecosistémicos, considerando al cambio climático global; e) Impulsar la implementación de planes de manejo sostenible de suelos agropecuarios en acuerdo con las provincias y f) Promover el desarrollo de normativa referida a suelos agropecuarios y g) Fomentar la investigación, la capacitación, la extensión y transferencia para el manejo sostenible de los suelos agropecuarios.

El Plan cuenta con la información que genera el Observatorio Nacional de Suelos Agropecuarios, creado en julio de 2017 para implementar un sistema de relevamiento de la información referente a parámetros del estado de salud de suelos a nivel nacional, y generar un sistema de gestión en red de datos de suelos, alimentado por la información obtenida en relevamientos de campo, en cada uno de los observatorios regionales.

El Plan Nacional de Suelos Agropecuarios cuenta con fondos provistos por el Ministerio, así como otras fuentes provinciales, nacionales e internacionales de financiamiento, que han sido cada vez menores y completamente insuficientes para desarrollar los objetivos planteados en sus inicios. Se debería recrear y fortalecer este Plan Nacional, asignando y asegurando los recursos necesarios para su buen funcionamiento, en función de la importancia estratégica de los suelos argentinos, tal lo reconocido en la Resolución de su creación.

Legislación

En 1981 se sanciona la Ley 22.428 de Fomento a la Conservación de los Suelos y de su decreto reglamentario, producto del trabajo iniciado en 1979 por una comisión especial en la Secretaría de Planeamiento, presidida por el Ing. Agr. Walter Kugler y

posteriormente durante 1980, de una comisión en la Secretaría de Agricultura y Ganadería presidida por el Dr. Guillermo Giaroli.

Todas las Provincias se adhirieron a la ley declarándose 82 Distritos de Conservación (ámbito de aplicación) con una superficie protegida con planes y prácticas conservacionistas de 2.784.645 hectáreas. La ley puso mucho énfasis en materia de educación conservacionista, contando con un sistema de monitoreo de las actividades desarrolladas a través de la Comisión Nacional de Conservación de Suelos, integrada por representantes de Nación, las provincias y los productores.

Esta ley comenzó a aplicarse efectivamente en 1982 y 1983 manteniéndose en plena vigencia hasta 1988. En este año se redujo el presupuesto asignado, como consecuencia de las dificultades presupuestarias del sector público y en 1989 dejó de funcionar por las razones invocadas (Del Campo, 1999).

Por su parte, algunas provincias como Entre Ríos, Córdoba, Santa Fe, La Pampa, Salta y Tucumán, han aplicado leyes de conservación de suelos y aguas. A continuación se comentan brevemente aspectos salientes de la aplicación de las mismas en las Provincias de Entre Ríos y Córdoba.

En Entre Ríos, la Ley de Suelos N° 8318 se sancionó en 1989, constituyéndose esta provincia en un referente nacional en la lucha contra la erosión hídrica. La vigencia de la ley, sintetiza la importancia de las políticas públicas puestas al servicio de la utilización de distintas prácticas para la conservación de los suelos (Panigatti, 2015). La ley basa su accionar en la reducción del impuesto inmobiliario rural para aquellos productores que adopten prácticas conservacionistas tales como siembra directa, implantación de praderas permanentes y manejo sustentable del monte nativo, entre otras. Actualmente la Provincia cuenta con unas 600.000 ha sistematizadas en curvas de nivel y terrazas.

La Provincia de Córdoba sancionó en el año 2000 la Ley 8863 de Consorcios de Conservación de Suelos y en el año 2001 la ley

8936 de Conservación, Prevención y Recuperación de Suelos. En la provincia se desarrolla exitosamente el Programa Provincial de Conservación de Suelos a través de la Dirección de Conservación de Suelos y Manejo de Aguas y el trabajo de los productores, que tiene como objetivo impulsar prácticas y mecanismos de trabajo en los campos para el cuidado del recurso y el combate de la erosión hídrica y eólica. Se trabaja con un enfoque de gestión integrada de cuencas hídricas, incorporando prácticas tales como terrazas para el control de erosión y microembalses para retención de escurrimientos de agua, entre otras. Los consorcios activos de gestión integrada de cuencas cubren actualmente unos 4.000.000 de hectáreas (MAyG, Pcia de Córdoba, 2023).

En síntesis, se considera imprescindible contar con una Ley Nacional que promueva la conservación de suelos y articule la legislación provincial existente. De esta manera el estado nacional y los provinciales podrán formular y coordinar las políticas de mediano y largo plazo, imprescindibles para una buena gestión y conservación del recurso suelo.

Referencias

- Bonel B.A., J.A. Denoia, N.C. Di Leo & S. Montico. 2015. Provincia de Santa Fe. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. p. 275-286.
- Buschiazzo D.E., Z.E. Roberto & J.C. Colazo. 2015. Provincia de La Pampa. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. p. 141-154.
- Casas R. R. & M.I. Puentes. 2009. Expansión de la frontera agrícola en la Región Chaqueña: impacto sobre la salud de los sue-

- los. En: El Chaco sin bosques: la pampa o el desierto del futuro. Eds. Morello J.H, & A.F. Rodriguez. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. Pp. 247-270.
- Casas R. R. 2015. La erosión del suelo en la Argentina. En: El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomo 2. Eds. Casas R. R. & Albarracín G. Ed. FECIC. Buenos Aires. Pp. 433-452.
- Casas R.R. 2017. La degradación del suelo en la Argentina. En: Manejo y conservación de suelos; Con especial énfasis en situaciones argentinas. Ed: Vazquez M. E. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. 386 pp.
- Casas R. R. & F. Damiano, 2019. Buenas prácticas de manejo y conservación del suelo y del agua en la Argentina. En: Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y del agua en áreas de secano. Tomo I. Ed. FECIC. pp. 53-83.
- Casas R.R. & G.A. Cruzate. 2021. Agricultura con reposición de nutrientes o minería de suelos?. Revista de Investigaciones Científicas de la Universidad de Morón. Año 4, N° 8. Pp. 35-49.
- Casas R.R., Godagnone R.E. & J.C. de la Fuente. 2022. Evaluación y cartografía de la erosión eólica en la Argentina como base para la planificación de un uso sustentable. Revista de Investigaciones Científicas de la Universidad de Morón. Año 6, N° 10. Pp. 44-56.
- Casas R.R., Godagnone R.E. & J.C. de la Fuente. 2022. Evaluación y cartografía de la erosión hídrica en la Argentina. Revista de Investigaciones Científicas de la Universidad de Morón. Año 6, N° 11. Pp. 24-38.
- Cisneros J.M., A.J. Degioanni, J.G. Gonzalez, C.G. Cholaky, J.J. Cantero, A. Cantero Gutierrez, & J.L. Tassile. 2015. Provincia de Córdoba. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro

- del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. p. 87-100.
- Del Campo H. F. 1999. Caminando por sistemas productivos rentables. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria. Tomo LIII. Buenos Aires. Pp. 10-16. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/30701>
- FAO. 2011. El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura Cómo gestionar los sistemas en peligro. Roma. 47 pp.
- FAO. 2015. Carta Mundial de Suelos. <https://www.fao.org/3/I4965S/i4965s.pdf>
- FAO. 2017. Directrices voluntarias para la gestión sostenible de los suelos. <https://www.fao.org/3/i6874es/I6874ES.pdf>.
- FAO. 2023. Alianza Mundial por el Suelo. <https://www.fao.org/global-soil-partnership/resources/highlights/detail/es/c/155570/>.
- INTA. 1986. Documento básico para programa de riego y drenaje. Disposición D.N. N° 314/85. 94 pp.
- Irurtia C. B. & R. Mon. 2000. Impacto de la erosión Hídrica en la producción de granos en Argiudoles típicos de la Pampa Ondulada. 11ª Conferencia de la Organización Internacional de la Conservación del Suelo (ISCO). Actas. Buenos Aires.
- Lassaletta, L., Estelles, F., Beusen, A. H. W., Lex Bouwman, L., Calvet, S., van Grinsven, H. J. M., Doelman, J. C., Stehfest, E., Uwizye, A. & Westhoek, H., 2019. «Future global pig production systems according to the Shared Socioeconomic Pathways». Sci. Total Environ. 665, 739–751.
- López Falcón R. 2000. Degradación del suelo: causas, procesos, evaluación e investigación. Ed. CIDIAT. Mérida, Venezuela. 259 pp.

- Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Provincia de Córdoba. 2023. Gestión integrada de cuencas. <https://agricultura.cba.gov.ar/?p=9055>
- Morello J.H, & A.F. Rodriguez. El Chaco sin bosques: la pampa o el desierto del futuro. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires. 402 pp.
- Panigatti J.L. 2015. Aspectos de la erosión de los suelos en Argentina. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires. 67 pp.
- Prieto Garra D., Sanchez R. M. & R. S. Martinez. 2015. Las áreas de riego y la degradación de los suelos. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo I; Parte 3: El agua en la producción agropecuaria. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. Pp. 319-350.
- PROSA – FECIC. 2019. Manual de buenas prácticas de conservación del suelo y del agua en áreas de secano. Tomos I y II. Ed. FECIC. Buenos Aires. 557 pp.
- Sanchez R.M., Dunel Guerra L.G & M. Scherger. 2015. Documento FAO estimación de áreas salinas en Argentina. http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/rlc/utf017arg/anexosyapendices/5_Documento
- Sasal M.C., M.G. Wilson, D.J. Bedendo & G. A. Schulz. 2015. Provincia de Entre Rios. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. Pp. 111-120.
- Sfeir A. 2015. Provincia de Buenos Aires. En: R.R. Casas & G.F. Albarracín Eds. El deterioro del suelo y del ambiente. Tomo II; Parte 7. Erosión y degradación de suelos. Ed. FECIC. Buenos Aires, Argentina. p. 31-63.

- Springmann, M., Clark, M., Mason-D'Croz, D., Wiebe, K., Bodirsky, B. L., Lassaletta, L., de Vries, W., Vermeulen, S. J., Herrero, M., Carlson, K. M., Jonell, M., Troell, M., DeClerck, F., Gordon, L. J., Zurayk, R., Scarborough, P., Rayner, M., Loken, B., Fanzo, J., Godfray, H. C. J., Tilman, D., Rockström, J., & Willett, W., 2018. Options for keeping the food system within environmental limits. *Nature*, doi.org/10.1038/s41586-018-0594-0.
- Vazquez Amábile G. & E. Magnasco. 2018. Deforestación y producción agropecuaria. En: Gestión ambiental. Desafíos para una producción sostenible. Comp. Vazquez Amábile G. Ed. CREA. Buenos Aires. Pp. 91-98.
- Viglizzo E.F. & F. Frank. 2015. Dinámica territorial de la producción agropecuaria en Argentina. En: El deterioro del suelo y del ambiente. Eds. Casas R.R. & G. Albarracín. Ed. FECIC. Buenos Aires. Pp. 139-166.

Capítulo 3

El agua y la agricultura en Argentina: Identificando rumbos más productivos y sustentables

Esteban G. Jobbágy

Los desafíos del agua

La economía y el intercambio comercial con el resto del mundo de Argentina dependen fuertemente de la producción agrícola. La mayor parte de esta producción en términos de área ocupada, volumen producido e ingresos generados se focaliza en los granos, principalmente soja y maíz, y recibe un aporte ínfimo de agua de riego. Paradójicamente esa producción se asienta en tierras naturalmente secas o subhúmedas, es decir, aquellas en las que las lluvias casi todos los años ofrecen menos agua de la que demanda la atmósfera, en las que, paradójicamente también, hay en muchos casos disponibilidad de agua subterránea para riego que aún no se utiliza. En síntesis, Argentina depende fuertemente de la producción de soja y maíz, y ésta depende de las lluvias más que la de ninguna otra región productora de esos granos en el mundo. ¿Qué fortalezas y debilidades hídricas tiene este sistema y como llegó a adquirirlas?, ¿En qué medida es afectado por el cambio climático?, ¿Qué pueden hacer los agricultores y los gobiernos para asegurar que la producción de granos man-

tenga o mejore su magnitud, estabilidad y sustentabilidad?. Para responder estas preguntas se apela a la caracterización breve de las transformaciones productivas e hídricas recientes y las comparaciones de Argentina con otros países productores de granos. Más allá del contexto de secano en la llanura chaco-pampeana, el oeste de Argentina alberga también una serie de oasis de riego abastecidos por ríos de montaña y las economías agrícolas que allí se asientan enfrentan desafíos hídricos y de gobernanza propios, que son tratados hacia el final de esta contribución en un apartado específico.

Si a simple vista las grandes llanuras de Argentina y Estados Unidos parecen un reflejo simétrico a ambos lados del ecuador, con un espectro de suelos, climas y, sobre todo, especies cultivadas similares, la realidad hídrica de ambos graneros es contrastante como resultado de un desarrollo de infraestructura del agua de sus campos opuesto. Argentina se caracteriza por aplicar mínimo riego a sus cultivos de granos, aún en los extremos más secos de sus llanuras cultivadas y se distingue también, por haber desarrollado prácticamente nula infraestructura de drenaje, aun en los extremos más húmedos e inundables. En Estados Unidos la instalación de riego abastecido por agua subterránea (e.g. Kansas, Nebraska – ambientes equivalentes a La Pampa y San Luis) y el desagote de excesos hídricos por profusas redes de drenes enterrados y canales colectores (e.g. Iowa, Illinois – ambientes equivalentes a la provincia de Buenos Aires) transformó la dinámica del agua ya a mediados del siglo XX, estabilizando la producción de granos y comprometiendo, a la vez, la seguridad hídrica del agro y otros sectores por agotamiento de acuíferos en el caso del riego y contaminación de ecosistemas acuáticos en el caso del drenaje y su interacción con la sobrefertilización. En Argentina ocurrieron cosas diferentes.

Una jugadora en ascenso

Hoy después del último pulso de expansión de la agricultura de granos en la llanura chaco-pampeana iniciado en los noventa, comprendemos que los cultivos de granos de Argentina conviven en estrecha relación con las napas freáticas que los subyacen (Nosetto et al. 2009). Estas napas se alojan muy cerca de la superficie por razones naturales, que son el relieve regional extremadamente plano y la falta de redes naturales de evacuación superficial de agua, pero también humanas. Entre estas últimas está la mencionada carencia de infraestructura de riego, capaz de bombear agua subterránea para evapotranspirarla en las superficies irrigadas, o de drenaje, capaz de evacuar las aguas freáticas que se acercan a la superficie fuera de los campos hacia ríos o arroyos, deprimiendo en ambos casos sus niveles. Pero también existe evidencia que indica que estas napas están algo más cerca de la superficie gracias a la expansión masiva de los cultivos anuales desplazando pastizales y bosques naturales y pasturas perennes, que con sus raíces más profundas, mantenían a estas napas “a raya” en un nivel más profundo que el actual (Giménez et al. 2016). La expansión agrícola ha generado un nuevo estado en el sistema hidrológico de la llanura con napas más superficiales. Cabría pensar que la carencia de control hidráulico sobre el ciclo del agua de nuestras llanuras agrícolas sólo ha traído perjuicios a la producción, alejándola de un potencial al que nuestra contraparte norteamericana roza con más facilidad gracias al riego y al drenaje. Sin embargo, en estas dos décadas se ha evidenciado que la cercanía de las napas freáticas a la superficie ha causado mucho más beneficios que perjuicios a la producción de granos.

El análisis de la variación de la producción de soja y maíz de la región pampeana en los últimos 35 años indica que el acercamiento de las napas a la superficie en los últimos quince, redujo las mermas esperables durante las sequías a la mitad en aquellas localidades en las que el nivel freático se ubicó en promedio por encima

de los tres metros de profundidad (Whitworth-Hulse et al. 2023). En general se observa que la reducción del área sembrada y/o cosechada que causan las inundaciones en años húmedos, favorecidas por este ascenso freático, son sobrecompensadas por sus efectos positivos sobre el rendimiento de los cultivos durante las sequías. La agricultura favoreció este nuevo estado hidrológico y se benefició por el mismo, logrando una estabilidad de la producción similar a la de nuestra contraparte norteamericana en donde las napas “reprimidas” por el drenaje, también tendrían un efecto positivo mayor al supuesto previamente cuando están “libres” (Rizzo et al. 2018, Whitworth-Hulse et al. 2023). Aprender a convivir con napas cercanas a la superficie en los paisajes agrícolas es entonces una de las claves para el manejo del agua en sistemas agrícolas relativamente extensivos como los de las llanuras argentinas y eso requiere dos pilares, el monitoreo y los manejos flexibles o adaptativos del consumo de agua. El monitoreo frecuente del agua disponible no debe limitarse a los perfiles de suelo y debe incluir las napas. La combinación de información satelital de distintos tipos (ópticas, gravitatorias, de radar) junto a la generación e integración de datos de campo de agencias y productores a través del creciente elenco de redes disponibles, son piezas fundamentales para un esquema de monitoreo que los gobiernos locales deberían apoyar y fortalecer. Por otra parte diversificar el elenco de opciones productivas de menor (e.g. cultivo simple tardío) a mayor consumo de agua (e.g. doble cultivo o cultivo de servicio + cultivo de ciclo largo) y aplicarlas según las reservas de agua es necesario.

Más allá del monitoreo y adaptación planteados, las napas en ascenso presentan dos grandes problemas a abordar, con impactos sobre la producción agrícola y sobre funciones de los ecosistemas y actividades productivas que la exceden. El primero es que estas napas actúan como un vector de transporte de sales hacia los horizontes superiores del suelo (Jobbágy et al. 2020). Las tierras agrícolas previamente ocupadas por bosques como es el caso del

Chaco Seco y el Espinal albergan naturalmente una gran cantidad de sales en profundidad y el ascenso freático que acompaña al desmonte y cultivo las acerca a la superficie, degradando visiblemente zonas más bajas del paisaje (Giménez et al. 2020, Jobbágy et al. 2021) pero generando antes posibles mermas “subclínicas” de rendimiento a medida que los cultivos se ven expuestos a suelos gradualmente más cargados de sales. No tenemos al día de hoy una cuantificación de las mermas de producción causadas por este proceso, pero su seguimiento, especialmente en las etapas subclínicas, es urgente, ya que la remediación por infraestructura clásica como el drenaje o la llamada infraestructura verde, como es la conservación o regeneración de fajas forestales que limiten los ascensos freáticos, es posible y más exitosa cuando se aborda antes de que las sales alcancen la superficie.

El segundo problema es el de la convivencia con el anegamiento, que se vuelve más frecuente con napas superficiales. Hoy hace falta menos exceso de lluvias para anegar los paisajes y los encharcamientos duran y se extienden más. Si bien, como se mencionó, las mermas directas que esto causa a la producción agrícola hasta ahora son sobrecompensadas por el blindaje ante sequías, otros aspectos de la producción se ven afectados, tales como el transporte, acopio y almacenamiento de los granos. También se ven desproporcionadamente afectadas las actividades que demandan una logística más intensa como es la producción lechera. Finalmente, más allá de la producción agropecuaria, el daño a otras actividades y la vida en general en pueblos que se inundan con más frecuencia es otro aspecto a sopesar. Tanto por la salinidad como por el anegamiento, el manejo “verde” de nuestras napas requiere atención para productores y para gobernantes. Ambos deben recurrir al conocimiento técnico de la interfase entre hidrología y agronomía y no solo a la ingeniería hidráulica pura demandando obras que “saquen el agua”. Sobre esa base deben promover usos de la tierra y buenas prácticas que regulen la dinámica del agua gene-

rando máximos beneficios y mínimos perjuicios. En el caso de los organismos públicos de gestión es fundamental apelar al creciente cuerpo de conocimiento sobre la gobernanza del agua, para lograr acuerdos entre sectores que perciben costos y beneficios muy distintos ante cambios hidrológicos como el que vive la llanura.

Una segunda pampa con menos agua

Otro aspecto notable de la agricultura argentina ha sido su capacidad de expandirse hacia tierras más secas con gran éxito productivo y apoyada, fundamentalmente, en el control exhaustivo de las pérdidas de agua por consumo de malezas y por evaporación a través de la tecnología de siembra directa y el uso de cultivos resistentes al herbicida glifosato. Posteriormente, las siembras tardías de maíz permitieron explorar un ambiente hídrico más seguro con este cultivo, favoreciendo su mayor participación en el paisaje en relación a la soja. En efecto, si recorremos los últimos 35 años y comparamos el núcleo históricamente más productivo de la llanura (sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba, norte de Buenos Aires) con la periferia seca que tiene al oeste (oeste de Buenos Aires, resto de Córdoba, San Luis, La Pampa, Santiago del Estero), encontramos que en los períodos 1985-2000, 2001-2014 y 2015-2019, el aporte a la producción total de soja y maíz de esta segunda zona creció más que el núcleo y lo superó (4 vs. 12, 18 vs. 23, 32 vs. 27 millones de toneladas cosechadas anualmente para ambos cultivos en los tres períodos, respectivamente – datos de MAyDS). Esto ocurrió con un obvio aporte menor de lluvias en la periferia seca respecto al núcleo (132, 218, 176 mm/año menos en promedio, para cada uno de los tres períodos, respectivamente – datos del sistema global CHIRPS). Cabe destacar que el crecimiento del aporte productivo no se produjo sólo a fuerza de expansión sino de aumentos de rendimiento también, especialmente importantes en el caso de maíz cuyos rindes de grano son sostenidamente mayores

en la periferia seca que en el núcleo desde 2010. Las napas freáticas posiblemente jugaron un papel importante en parte de la periferia seca caracterizada por sus suelos muy arenosos. Allí es donde tener o no tener napas accesibles genera las mayores diferencias en términos de almacenamiento y seguridad hídrica de los cultivos (Nosetto et al. 2009).

Este éxito productivo incluye al menos tres vulnerabilidades que merecen atención, sin embargo. La primera de ella es la mayor inestabilidad de la producción en la periferia. El cultivo de soja que protagonizó el comienzo de la expansión agrícola y, aún más el de maíz, que cobró dominancia luego, tienen mayor variabilidad productiva respecto al núcleo (coeficiente de variación del rendimiento para el último de los tres períodos analizados en periferia vs. núcleo de 17 y 14% y 21 vs. 10% respectivamente para soja y maíz). Por otra parte la tecnología de control de malezas apoyada en glifosato y cultivos resistentes al mismo ha mostrado en todo el país un deterioro por la constante aparición de malezas resistentes. Esto ha dado lugar a valiosas respuestas tecnológicas como la inclusión de cultivos de servicios destinados específicamente al control de malezas, sin embargo el “margen de acción” para estas aproximaciones cuando la disponibilidad de agua es menor se achica y superar el problema de las malezas resistentes es más difícil. La tercera vulnerabilidad que aún no se ha documentado en forma exhaustiva, pero muestra señales que merecen atención, es la de la degradación de las tierras. A la salinización por ascensos freáticos mencionada en la sección anterior, debe agregarse la erosión eólica, que se asumió controlada por la siembra directa, pero que reapareció en los campos cultivados después de casi un siglo, favorecida por la secuencia de campañas de pocas lluvias y cultivos que no dejaron buena cubierta de rastrojo (Liu et al. 2023). Proteger al suelo de la erosión en la segunda pampa, que es más seca, requiere guiarse por los extremos y no los promedios, usando el agua escasa para producir grano pero también protección duradera del suelo. Esta

protección no se limita al rastrojo en los lotes y abarca también el establecimiento/regeneración de vegetación perenne en bordes de lotes, crestas medanosas y bajos con anegamiento y la salinidad.

¿Qué cambia con el cambio climático?

La transformación del clima del planeta causada por el incremento de la concentración de gases invernadero en la atmósfera es mucho más clara y de certera proyección para la temperatura que para la precipitación. Por esa razón la menos incierta de las predicciones respecto al agua y la agricultura es que la demanda atmosférica crecerá (i.e. mayor evapotranspiración potencial). Traducir eso en proyecciones hídricas en sistemas agrícolas es difícil, sin embargo. Si todo se mantuviese igual es esperable que los consumos de agua crezcan y la frontera entre tierras húmedas y secas se desplace en favor de estas últimas. Sin embargo, los cambios de temperatura pueden disparar cambios en los planteos agrícolas que ya han demostrado su flexibilidad con, entre otras cosas, la aparición del maíz tardío. Es prudente entonces esperar mayores daños directos a los cultivos por golpes de calor (Cicchino et al. 2010) y aceptar que puede haber respuestas complejas a esa realidad y a las oportunidades de siembra que abre un clima más caliente, que deberán decodificarse y guiarse con el tiempo.

Por otra parte la incidencia de la precipitación en el balance de agua es mucho más determinante que la de la temperatura en tierras predominantemente secas como las productoras de grano en Argentina. Por décadas los pronósticos de precipitación de largo plazo para esas tierras vienen sugiriendo una “monzonización” (i.e. clima más tropical con prevalencia de tormentas convectivas de verano) que trae como resultado más lluvia total, con más aportes estivales que compensan una caída de los aportes invernales. Por otra parte, un ciclo del agua que globalmente se acelera se suele relacionar con mayor intensidad de las tormentas y en

general mayor variabilidad temporal (Barros et al. 2015), lo cual implica períodos secos más prolongados y eventos más extremos que causan erosión, anegamiento y daños directos a los cultivos mayores a los vistos en el pasado. Hasta los años 2000, los aumentos de precipitación registrados en gran parte de la llanura apoyaron el pronóstico de mayor pluviometría media en la región, sin embargo, la última década ha sido relativamente seca, mostrando años excepcionalmente húmedos sólo ocasionalmente. Se puso atención en este tiempo a otros determinantes de la precipitación regional que se suman al calentamiento global, como es el caso de la recirculación interna de lluvia en el continente (la llanura chaco-pampeana es un gran sumidero de lluvias recicladas según Van der Ent et al. 2010), sugiriendo conexiones entre la vegetación (y la deforestación) de Amazonia y el norte del Chaco y la disminución de lluvias en el oeste de la llanura chaco-pampeana (Eiras-Barca et al. 2020). Es pronto para aplicar este conocimiento en la toma de decisiones, pero se abre un gran interrogante en la gestión internacional del cambio climático que hasta ahora ha puesto su foco en los gases invernadero como desafío global y tendría bajo esta nueva mirada, desafíos continentales como por ejemplo acordar usos de la tierra entre países vecinos para evitar impactos “atmósfera abajo”, en un paralelo a lo que normalmente ocurre con la gestión de ríos (Jones et al. 2017).

Volviendo a los lotes agrícolas, al día de hoy las señales de cambio más claras posiblemente tengan más que ver con extremos climáticos inesperados que con graduales reajustes del balance de agua. En este sentido el ejercicio de adaptarse a la variabilidad climática incorporando elementos de monitoreo, proyección/pronóstico y adaptación como por ejemplo el seguimiento del stock de agua combinado de suelos y napas (Jobbágy et. al 2019), la modelización del desarrollo y producción de los cultivos (Mercau et al. 2007), la incorporación de nuevas opciones y ciclos de cultivo posibles (Novelli et al. 2023); sean la base de una buena respuesta a

cambios en la oferta hídrica que aún no podemos pronosticar. Más allá de los lotes, la interacción del avance agrícola con la monzonización prevista puede multiplicar los riesgos de inundación en la llanura, obligando a encarar esta tensión desde la gestión territorial lo antes posible.

Regar o no regar los granos

¿Por qué no regar una llanura productora de granos en la que altas respuesta de la producción al riego son esperables (Merlos et al. 2015) y en la que muchas zonas cuentan con reservas de agua subterránea disponibles (Genova 2012). Posiblemente la primera respuesta es que para las empresas agrícolas el riego no es lo suficientemente rentable y seguro como negocio ante la actual ecuación de costos y beneficios y/o ante su volatilidad. Lo sorprendente es que en escenarios ambientalmente similares otras llanuras productoras de granos como las de China, India y Estados Unidos riegan intensamente hace al menos medio siglo y al hacerlo nos brindan algunas lecciones. En primer lugar estas zonas productoras han recurrido al consumo de agua subterránea más que al de agua superficial para expandir el riego de granos, y lo han hecho en un contexto de subsidios dirigidos directamente a la producción total o a las necesidades del riego (e.g. infraestructura hidráulica y energética, subsidios a la energía y la adquisición de equipamiento). Países con mínimos o nulos subsidios a la producción agrícola como Australia y Ucrania, riegan menos; y Argentina con un escenario de gravámenes que es record a nivel global junto a costos energéticos altos posiblemente, ha visto inhibida la expansión del riego hasta el presente, manteniendo uno de los niveles menores entre los “graneros” globales (Jobbágy et. al 2021). Sin embargo, prueba de la viabilidad técnica (pero no necesariamente de la sustentabilidad) del riego en la llanura chaco-pampeana la aportan los múltiples pequeños focos existentes, justificados en su mayoría por

la obtenciones de márgenes superiores al de los granos “commodity” (semilla, algodón y otras especialidades, integración a cadenas de valor más complejas) y/o por la disponibilidad de riego con mínimos costos de bombeo (Río Juramento-Salado en Salta, Río Quinto en San Luis). Esta realidad sugiere que reducciones en el precio relativo de la energía respecto a los granos o de los gravámenes que reciben estos últimos, así como incentivos a la adquisición de equipos de riego, pueden favorecer una rápida expansión de las tierras irrigadas en nuestra llanura.

Prepararse para esa posible expansión además de reconocer barreras e incentivos económicos, requiere identificar aspectos críticos de su sustentabilidad. El primero de ellos surge de la mirada a las grandes llanuras que producen granos bajo riego, que en su mayoría experimentaron en el plazo de décadas un agotamiento de sus recursos subterráneos que no sólo incrementó los costos de bombeo ante niveles que se deprimen, sino también la pérdida de calidad del agua por intrusiones salinas, el daño de ecosistemas naturales como arroyos y humedales alimentados por esos acuíferos y problemas de subsidencia (i.e. hundimiento) del terreno (Scanlon et al. 2023). A lo anterior se suman otros dos desafíos propios del contexto de nuestros ambientes que son, la propensión al anegamiento y la alcalinización de la tierra. Si bien el riego con agua subterránea en fracciones grandes de una región tarde o temprano deprime los niveles freáticos (Scanlon et al. 2006), en etapas iniciales, su expansión puede provocar el efecto opuesto si se tiene en cuenta el contexto de napas cercanas a la superficie que se mencionó antes. Un uso descuidado del riego que genere excesos hídricos y alta saturación del suelo puede favorecer localmente el anegamiento y es necesario ajustar el riego al stock de agua en suelos y napas para evitar este problema. Por otra parte las aguas subterráneas de nuestras llanuras tienen en muchas zonas una composición dominada por el bicarbonato de sodio y por ello una propensión a alcalinizar los suelos. Aún cuando los acuíferos

no se agoten y cuando no se genere un anegamiento serio, el riego sostenido con aguas de esta composición deteriora la fertilidad física (e.g. pérdida de estructura) y química (e.g. solubilización de la materia orgánica) de los suelos (Jobbágy et al. 2017), algo ya documentado en la región (Alvarez et al. 2020).

Es indispensable incorporar ciclos de diagnóstico, monitoreo y aprendizaje rápidos cuando se inicia un consumo masivo de los acuíferos para evitar repetir los errores de los graneros regados Asia y Norteamérica en nuestra llanura. También es fundamental apuntalar esos procesos con esquemas de gobernanza del riego capaces de organizar el aprendizaje y transformarlo en regulaciones inteligentes y justas de un recurso, el agua subterránea, que es comparado más allá de los límites de lotes o establecimientos aún cuando su dinámica lenta e invisible nos lo haga olvidar.

Los oasis fluviales

Vertebrados por las fuentes de agua del oeste montañoso de Argentina, un conjunto diverso de oasis sostiene sistemas agrícolas que si bien hacen un aporte menor a la producción de granos y al producto bruto del país, son protagonistas en la oferta de productos de alto valor y fuerte demanda interna (e.g. gran parte del consumo local de frutas, hortalizas, nueces y semillas, vinos) y, en algunos casos, externa (e.g. peras, limones o vinos y mostos de uva). Construidos a partir de aportes fluviales desde las montañas a los valles y llanuras pedemontanas, estos oasis aún se riegan predominantemente con aguas superficiales y solo algunos de ellos incorporaron el complemento subterráneo tardíamente. A diferencia de los sistemas agrícolas de la llanura, varios de estos oasis presentan amenazas mucho más certeras y tangibles asociadas al cambio climático. Es útil descomponer estas amenazas en dos aspectos, que son el aumento de la temperatura y su efecto reduciendo las masas de hielo glaciales y nivales, por un lado, y

los cambios en la precipitación en las cuencas de abastecimiento hídrico, por el otro. Mientras los oasis regados del noroeste de Argentina (i.e. ríos Juramento-Salado, río Dulce) tienen mínimo aporte de deshielos y dependen de precipitaciones aportadas por el dominio atmosférico Atlántico-Amazónico, los oasis de cuyanos (i.e. ríos San Juan, Mendoza, Tunuyán, Diamante, Atuel, Colorado) reciben aportes glaciarios, tienen una estacionalidad de caudales dominada por el deshielo y dependen de precipitaciones níveas muy escasas aportadas por el dominio atmosférico Pacífico a las crestas cordilleranas (Duissailant et al. 2019, Poca et al. 2020). En Patagonia, finalmente, los oasis regados dependen de este mismo dominio climático, que en esas latitudes hace aportes más abundantes como nieve y lluvia y cuentan con el efecto regulador de grandes lagos (i.e. ríos Negro y afluentes, Santa Cruz) con la excepción de algunas cuencas más occidentales y áridas (i.e. río Chubut). La retracción de glaciares y la reducción ya apreciable de las precipitaciones aportadas por el dominio atmosférico Pacífico imponen la amenaza más seria de reducción de aportes de agua a los oasis cuyanos (Duissailant et al. 2019). En los del norte en cambio, las amenazas asociadas a precipitaciones estivales más intensas y crecientes que dañan campos e infraestructura de almacenamiento y distribución del agua, son más críticas.

A los problemas que trae el cambio climático debe sumarse el desafío intrínseco del riego con aguas superficiales en oasis de valles fluviales de todo el mundo, que es la salinización por revenimiento (Hillel 2000). La misma es favorecida por riegos de baja eficiencia con altas pérdidas por percolación profunda y por sistemas de drenaje inexistentes, insuficientes y/o mal mantenidos. La salinización que acompaña al revenimiento daña una gran cantidad del área habilitada para riego en los oasis de los ríos Juramento-Salado, Dulce, San Juan, Mendoza, Colorado y Chubut. Saliendo de la sustentabilidad productiva y abordando la de

los servicios y de la conservación (ver sección siguiente), los oasis enfrentan también demandas críticas. A la obvia competencia del riego con otros usos rurales o urbanos del agua, debe sumarse la necesidad de liberar caudales mínimos para sostener ecosistemas acuáticos aguas abajo. Esta demanda crece a medida que la sociedad pone más atención sobre el cuidado de humedales (e.g. lagunas de Guanacache, mar de Ansenzuza).

Una solución central que puede responder simultáneamente a las tres problemáticas planteadas (reducción de la oferta hídrica por cambio climático, revenimiento y salinización y recuperación del caudal ecológico) es el aumento de la eficiencia del riego. En este sentido es sorprendente que existiendo las tecnologías disponibles y las pruebas de concepto de sus beneficios en sectores más modernos y capitalizados de los oasis, las acciones públicas provinciales y nacionales para mejorar la eficiencia de riego con aguas superficiales sean tan escasas. Cabe preguntarse si esta cuestión prioritaria es tal vez evadida por cuestiones estratégicas vinculadas al acaparamiento de recursos hídricos. Si una provincia mejora la eficiencia de riego y libera recursos que no aprovecha en otras superficies propias, genera un precedente de caudal excedente que puede disparar nuevos reclamos o intensificar los ya existentes por parte de otras provincias y usuarios aguas abajo (e.g. conflicto entre las provincias de Mendoza y La Pampa). Este tipo de barreras para mejorar la eficiencia relacionadas a la gobernanza local, regional e interjurisdiccional del agua son tan importantes como las tecnológicas y ambientales a la hora de mejorar la gestión de los oasis. Es útil remarcar aquí el carácter fuertemente estatizado de la gestión de aguas superficiales en Argentina, contrastante con el de la gestión de tierras en las que las potestades de los estados son mucho menores, que debería usarse a favor de la sustentabilidad.

Tres sustentabilidades y pautas para la gestión pública

Los planteos de las secciones anteriores se focalizaron en el agua y la agricultura principalmente desde el punto de vista de la productividad y su sustentabilidad intrínseca (i.e. cuidar la cantidad y calidad de lo que producimos en el largo plazo). Sin embargo la sociedad reclama a los territorios agrícolas mucho más que sus aportes productivos. A la demanda de sustentabilidad productiva se deben sumar la de los servicios ecosistémicos (i.e. cuidar aquellas contribuciones esenciales o valiosas del territorio a la gente) y la de la biodiversidad (i.e. cuidar los hábitats y su biota por su valor intrínseco más allá de su utilidad para las personas), (Garibaldi et al. 2020). Estas tres sustentabilidades son atravesadas por el agua. Por ejemplo, desde el punto de vista de los servicios ecosistémicos hídricos, los territorios productores de granos de Argentina son fuente de recarga de acuíferos que abastecen de agua potable a una porción significativa de ciudades chicas y medianas de la llanura (Llanes et al. 2023) y son también los reguladores o amplificadores de los excesos hídricos capaces de inundar a estas urbes y las rutas que las conectan (Kuppel et al. 2016). Por otra parte, los humedales, lagunas y arroyos de la llanura productora de granos albergan los últimos refugios de vida silvestre. En este sentido la agricultura de granos de Argentina plantea uno de los desafíos más críticos en su contaminación con herbicidas (Van Opstal et al. 2022), que a diferencia de lo que sucede en otros graneros del mundo, supera a la de la fuga de nutrientes de la fertilización (Jobbágy et al. 2021). Por otra parte, así como en la actualidad los sistemas de producción de granos favorecen el anegamiento y la expansión de áreas de humedal, habilitando nuevos hábitats silvestres (Jobbágy et al. 2021), un futuro con mayor incidencia del riego con agua subterránea puede generar el efecto opuesto. Lejos de pretender anticipar todos estos efectos colaterales de la agricultura “aguas abajo”, estos ejemplos ilustran la importancia

de considerar las tres sustentabilidades aquí propuestas en la gestión privada y pública del agua en las tierras productoras de granos en Argentina. Si bien el conocimiento actual es incompleto y fragmentario, las bases para empezar a usar y cuidar mejor el agua en nuestras tierras cultivadas ya están disponibles.

Se plantean a continuación pautas orientadoras para las políticas que aborden la cuestión del agua y la agricultura más allá de las recomendaciones específicas de las secciones previas. Cuando es oportuno se ajustan estas pautas a dos escenarios, uno de baja inversión pública, similar al actual y otro de creciente inversión pública nacional y provincial.

- 1) Las políticas deben considerar simultáneamente a las **tres sustentabilidades** (producción, servicios ecosistémicos, conservación de la diversidad). Dado que las demandas de los dos frentes que se suman al de la producción crecen tanto desde la sociedad local (e.g. calidad del agua, espacios de esparcimiento y apreciación de la naturaleza) como la global (e.g. certificaciones de bajo impacto ambiental, trazabilidades varias), cada intervención o política debe revisar su impacto ex ante y ex post en las tres esferas. Algunas mostrarán sinergias, como podría ocurrir con un plan de gestión de humedales que busque amortiguar inundaciones en tierras cultivadas, reducir daño a rutas y pueblos y proteger la vida silvestre dentro de la matriz agrícola. Otras en cambio pueden imponer compromisos, como es el caso de aumentar la red de drenaje de campos anegados, acrecentando los picos de creciente de los ríos receptores y así el riesgo de inundación de pueblos en sus riberas. Apuntar a la primera de las situaciones y evitar dentro de lo posible la segunda, debe ser una prioridad desde la concepción y debate inicial de las políticas. Esta pauta es válida tanto para escenarios de baja como alta inversión pública. En los oasis regados las demandas de caudal ecológico aguas abajo (e.g. Guanacache

en el río Mendoza, Ansenúza en el caso del río Dulce) sin duda crecerán con el tiempo y no pueden ignorarse cuando se plan-
tean nuevas obras de almacenamiento y distribución del agua.

- 2) Las **soluciones hídricas basadas en ecosistemas** deben acompañar cualquier planteo de infraestructura hidráulica clásica y pueden, en algunos casos, reemplazarlos. Una historia de enfoques puramente ingenieriles para resolver los desafíos hídricos debe acomodar la evidencia local y global en favor de integrar el ordenamiento territorial y otros instrumentos orientados al uso del suelo en el manejo del agua. Conectar acciones como el estímulo de buenas prácticas agrícolas con la gestión de cuencas es hoy técnicamente posible gracias a la disponibilidad de datos (de campo y satelitales) y modelos de simulación que ya se están aplicando con éxito en distintas zonas de la llanura chaco-pampeana por actores del sistema nacional de ciencia y tecnología y por consultores privados. En escenarios de baja inversión pública las soluciones hídricas basadas en ecosistemas cobran especial importancia porque tienen costos menores, requieren inversiones graduales y descentralizadas. En escenarios de alta inversión, es valioso sumar a la gestión hidráulica de la llanura otros servicios hídricos hoy ignorados como el del transporte por canales, capaces de apalancar obras costosas. Del mismo modo, en los oasis regados el servicio energético del agua juega ya un papel central como incentivo de las obras.
- 3) El **monitoreo del agua** en los sistemas agrícolas y su integración a sistemas transparentes e inteligentes para la gestión es indispensable y aparecen constantemente “atajos” tecnológicos que lo hacen más fácil. En escenarios de baja inversión pública, es clave aprovechar los registros distribuidos de campo que generan los productores (e.g. humedad del suelo, niveles de napa) y el resto de la sociedad (e.g. calidad de agua por municipios o

cooperativas) e integrarlos a la actualmente pobre red nacional de aforos y datos ambientales y potenciarlo con herramientas satelitales que son capaces de estimar no solo coberturas de agua, sino también stocks regionales, caudales de ríos o floraciones algales. En este recorrido la redundancia institucional (e.g. provincias y nación midiendo variables similares) lejos de ser un problema es una oportunidad, ya que asegura continuidad y transparencia (Low et al. 2003). En escenarios de alta inversión uno de los primeros pasos deseables es el fortalecimiento de las redes de monitoreo en densidad geográfica, variables incorporadas y disponibilidad en tiempo real de la información al público. La asimilación de datos por sistemas que entreguen recomendaciones operativas a todos los actores de las cadenas agrícolas (contratistas, productores, logística) es clave para darle verdadera utilidad al monitoreo. Un último punto aquí es reconocer la diversidad de situaciones en cada una de las provincias argentinas, con algunas muy avanzadas en sus sistemas propios de monitoreo y otras puramente dependientes del magro aporte de los sistemas nacionales. Fortalecer los esquemas de monitoreo nacionales asimilando datos y experiencia provincial es una oportunidad que no puede desperdiciarse.

- 4) Anticiparse a una nueva ola de **expansión del riego** es posiblemente el desafío más crítico para Argentina. En escenarios de baja inversión pública y pobres incentivos para la inversión privada, esta esperable expansión puede mantenerse detenida por décadas, aún cuando la demanda global de alimentos siga creciendo. Sin embargo, cambios en las condiciones de inversión pública y/o privada, pueden habilitarla muy rápidamente en un contexto global que la ha favorecido en la mayoría de las grandes regiones agrícolas del mundo. En este sentido es recomendable abrir el debate acerca de qué y cómo queremos regar en la llanura, cómo se gestiona el recurso subterráneo desde los

estados provinciales, que tecnologías de riego se desean fomentar o desarrollar localmente y cómo las tres sustentabilidades pueden verse afectadas por el riego. Aprovechar las lecciones cruzadas entre la llanura chaco-pampeana y los diversos oasis de riego con sus capacidades técnicas ya instaladas y sus lecciones de fracasos y aciertos es algo viable en el contexto de foros federales ya existentes como el COHIFE. Estos debates, sin embargo, deben abrirse al ámbito de los organismos enfocados en el agro, la obra pública y el ambiente.

Conclusión

En un contexto de escasa infraestructura y máxima dependencia de las lluvias, la agricultura de granos de Argentina ha mostrado como fortaleza su capacidad de lograr rendimientos de nivel medio-alto muy estables si se los compara con los de otros países, aún en climas secos. Para alcanzar esta realidad se sumaron los reconocidos aportes de la siembra directa y la implementación de maíz tardío en las rotaciones y los no tan reconocidos aportes del acople napa-cultivo que ocurrió espontáneamente y que en la última década se aprende a aprovechar. Productores y gobiernos deben mejorar sus capacidades de monitoreo, proyección y adaptación ante una oferta de agua en secano cuyas fluctuaciones pueden incrementarse por el cambio climático. Deben también abrir su debate y planificación a las demandas de servicios ecosistémicos y cuidado de la biodiversidad que la sociedad crecientemente impone y que en muchos casos se relacionan al agua que entra y sale de los lotes agrícolas. En los sistemas productores de granos de secano, una historia de desarrollo de espaldas al riego debe gradualmente discutirlo e incorporarlo aprovechando los grandes aciertos y errores de otras regiones del mundo que riegan granos con agua subterránea. En los oasis regados, la ineficiencia en el uso de aguas superficiales refleja a la vez un problema (de gobernanza, de adopción de tecnología) y una oportunidad (la de producir más

con menos). Abordar esta asignatura pendiente es especialmente crucial donde el cambio climático ya muestra señales inequívocas de deterioro de la oferta hídrica. Sacar provecho de la estructura de gestión federal del agua que tiene nuestro país para integrar aprendizajes y capacidades entre múltiples niveles jurisdiccionales y sectores de gobierno, es un paso que debemos dar para que la agricultura haga uso del agua cada vez más inteligente y justo.

Referencias

- Alvarez, C. R., Rimski Korsakov, H., & Torres Duggan, M. (2020). Effects of Supplementary Irrigation on Soils and Crops in Humid and Sub-humid Areas in the Pampas Region of Argentina. In *Saline and Alkaline Soils in Latin America: Natural Resources, Management and Productive Alternatives* (pp. 285-294). Cham: Springer International Publishing.
- Barros, V. R., Boninsegna, J. A., Camilloni, I. A., Chidiak, M., Magrín, G. O., & Rusticucci, M. (2015). Climate change in Argentina: trends, projections, impacts and adaptation. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 6(2), 151-169.
- Cicchino, M., Edreira, J. R., Uribe Larrea, M., & Otegui, M. E. (2010). Heat stress in field-grown maize: Response of physiological determinants of grain yield. *Crop science*, 50(4), 1438-1448.
- Dussailant, I., Berthier, E., Brun, F., Masiokas, M., Hugonnet, R., Favier, V. & Ruiz, L. (2019). Two decades of glacier mass loss along the Andes. *Nature Geoscience*, 12(10), 802-808.
- Eiras-Barca, J., Dominguez, F., Yang, Z., Chug, D., Nieto, R., Gimeno, L., & Miguez-Macho, G. (2020). Changes in South American hydroclimate under projected Amazonian deforestation.

- tion. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1472(1), 104-122.
- Garibaldi, L. A., Oddi, F. J., Miguez, F. E., Bartomeus, I., Orr, M. C., Jobbágy, E. G., & Zhu, C. D. (2021). Working landscapes need at least 20% native habitat. *Conservation Letters*, 14(2), e12773.
- Genova, L. (2012). Calidad del agua subterránea para riego complementario en la Pampa Húmeda argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía, La Plata*, 110(2), 63-81.
- Giménez, R., Mercau, J., Noretto, M., Páez, R., & Jobbágy, E. (2016). The ecohydrological imprint of deforestation in the semiarid Chaco: insights from the last forest remnants of a highly cultivated landscape. *Hydrological Processes*, 30(15), 2603-2616.
- Giménez, R., Mercau, J. L., Bert, F. E., Kuppel, S., Baldi, G., Houspanossian, J. & Jobbágy, E. G. (2020). Hydrological and productive impacts of recent land-use and land-cover changes in the semiarid Chaco: Understanding novel water excess in water scarce farmlands. *Ecohydrology*, 13(8), e2243.
- Jobbágy EG, Giménez R, Marchesini VA, Díaz Y, Jayawickreme DH, Noretto MD. 2020. Salt Accumulation and Redistribution in the Dry Plains of Southern South America: Lessons from Land Use Changes. In: R Lavado and E Taleisnik (editors). *Saline and Alkaline Soils in Latin America*. Pages 51-70. Springer, Switzerland.10.1007/978-3-030-52592-7
- Jobbágy EG, Noretto MD, Gimenez R y JL Mercau. 2019. El Lugar de la naturaleza en la toma de decisiones: Capítulo B5- El (dis)servicio de la regulación hídrica en la llanura chaco-pampeana. Editores: Paruelo JM y P Laterra. Ediciones CICCUS. pp: 212-221.

- Jobbágy, E. G., Lorenzo, S., Buono, N., Páez, R., Diaz, Y., Marchesini, V., & Nosetto, M. D. (2021). Plants versus streams: Their groundwater-mediated competition at “El Morro,” a developing catchment in the dry plains of Argentina. *Hydrological Processes*, 35(5), e14188.
- Jobbágy, E. G., Tóth, T., Nosetto, M. D., & Earman, S. (2017). On the fundamental causes of high environmental alkalinity ($\text{pH} \geq 9$): an assessment of its drivers and global distribution. *Land Degradation & Development*, 28(7), 1973-1981.
- Jones, J., Almeida, A., Cisneros, F., Iroumé, A., Jobbágy, E., Lara, A., & Villegas, J. C. (2017). Forests and water in South America. *Hydrological Processes*, 31(5), 972-980.
- Kuppel, S., Houspanossian, J., Nosetto, M. D., & Jobbágy, E. G. (2015). What does it take to flood the Pampas?: Lessons from a decade of strong hydrological fluctuations. *Water Resources Research*, 51(4), 2937-2950.
- Liu, Y., Zhao, H., Zhao, G., Cao, X., Zhang, X., & Xiu, A. (2023). Estimates of Dust Emissions and Organic Carbon Losses Induced by Wind Erosion in Farmland Worldwide from 2017 to 2021. *Agriculture*, 13(4), 781.
- Llanes, A. L., Poca, M., Jimenez, Y. G., Castellanos, G., Gómez, B. M., Marchese, M., & Jobbágy, E. G. (2022). ¿De dónde viene ya dónde va el agua de las ciudades? Base de datos integrada para 243 centros urbanos argentinos. *Ecología Austral*, 32(3), 1133-1149.
- Low, B., Ostrom, E., Simon, C., & Wilson, J. (2003). Redundancy and diversity: do they influence optimal management. Navigating social-ecological systems: Building resilience for complexity and change, 83-114.

- Mercau, J. L., Dardanelli, J. L., Collino, D. J., Andriani, J. M., Iri-goyen, A., & Satorre, E. H. (2007). Predicting on-farm soybean yields in the pampas using CROPGRO-soybean. *Field Crops Research*, 100(2-3), 200-209.
- Merlos, F. A., Monzon, J. P., Mercau, J. L., Taboada, M., Andra-de, F. H., Hall, A. J., & Grassini, P. (2015). Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research*, 184, 145-154.
- Nosetto, M. D., Jobbágy, E. G., Jackson, R. B., & Sznaider, G. A. (2009). Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research*, 113(2), 138-148.
- Novelli, L. E., Caviglia, O. P., Jobbágy, E. G., & Sadras, V. O. (2023). Diversified crop sequences to reduce soil nitrogen mining in agroecosystems. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 341, 108208.
- Poca, M., Nosetto, M. D., Ballesteros, S., Castellanos, G., & Jobbágy, E. G. (2020). Isotopic insights on continental water sources and transport in the mountains and plains of Southern South America. *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 56(5-6), 586-605.
- Scanlon, B. R., Fakhreddine, S., Rateb, A., de Graaf, I., Famiglietti, J., Gleeson, T. & Zheng, C. (2023). Global water resources and the role of groundwater in a resilient water future. *Nature Reviews Earth & Environment*, 4(2), 87-101.
- Scanlon, B. R., Keese, K. E., Flint, A. L., Flint, L. E., Gaye, C. B., Edmunds, W. M., & Simmers, I. (2006). Global synthesis of groundwater recharge in semiarid and arid regions. *Hydrological Processes: An International Journal*, 20(15), 3335-3370.

- Van der Ent, R. J., Savenije, H. H., Schaefli, B., & Steele-Dunne, S. C. (2010). Origin and fate of atmospheric moisture over continents. *Water Resources Research*, 46(9).
- Van Opstal, N. V., Seehaus, M. S., Gabioud, E. A., Wilson, M. G., Galizzi, F. J., Pighini, R. J., ... & Sasal, M. C. (2022). Quality of the surface water of a basin affected by the expansion of the agricultural frontier over the native forest in the Argentine Espinal region. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(38), 57395-57411.

Capítulo 4

Captura y almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo

Miguel A. Taboada

El Problema

Si pensamos que la captura y el almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo es el proceso por el cual la fotosíntesis vegetal asimila dióxido de carbono (CO_2) atmosférico y lo almacena como formas estables de carbono orgánico vegetal (tejido leñoso) y edáfico (carbono orgánico del suelo), lo primero que cabe preguntarse es: ¿cuál es el problema?. En realidad, el problema surge cuando se permite o se promueve que estos almacenes se pierdan o se reduzcan hasta niveles críticos que terminan afectando la vida en el planeta.

Existen varias causas por las cuales los almacenes de carbono disminuyen. En el caso de los existentes sobre el suelo, como biomasa vegetal leñosa, la principal causa son los procesos de deforestación que permiten la desaparición de sistemas boscosos y todo su carbono almacenado en madera y en los suelos, así como la fragmentación de paisajes y la pérdida de corredores de fauna y biodiversidad. El reemplazo de pastizales y arbustales para plantar cultivos anuales causa también disminuciones de almacenes de carbono orgánico en suelos, por la liberación de CO_2 a partir

de mineralización de la materia orgánica de los suelos (Herrero-Jaúregui et al. 2022).

Estas pérdidas de carbono de suelo también son generadas por el uso de labranzas agresivas (reja y vertedera, disco, etc), así como rotaciones de cultivos poco intensificadas, y el sobrepastoreo por ganado doméstico (FAO e ITPS, 2015).

Calentamiento global en estado crítico: aumentos de temperatura media global > 1°C y mayor frecuencia de eventos extremos.

La desprotección de los almacenes de carbono tiene consecuencias directas sobre el cambio climático, pues contribuye tanto al calentamiento global como a la imposibilidad de mitigación del cambio climático. Existe consenso en atribuir el calentamiento global al aumento de las emisiones antropogénicas (que incluyen a los gases efecto invernadero -GEI-, los aerosoles, y otros precursores). Se estima que las actividades humanas han causado aproximadamente 1,0°C de calentamiento global por encima de los niveles preindustriales, con un rango probable de 0.8°C a 1.2°C. Es probable que este calentamiento global alcance los 1,5 °C entre 2030 y 2052 si continúa aumentando al ritmo actual (IPCC, 2018).

Los principales GEI responsables del calentamiento global son el dióxido de carbono (CO₂), el metano (CH₄) y el óxido nitroso (N₂O), donde cada gas posee diferente capacidad de atrapar la energía radiante emitida por la tierra, lo que se conoce como Poder de Calentamiento Global (PCG). Los valores de PCG se expresan referidos al CO₂. Es así que el PCG del CH₄ es 28, o sea atrapa 28 veces más la radiación que el CO₂. El PCG del N₂O es 265. Estos dos gases con mayor PCG están en concentraciones en la atmósfera en valores de orden de magnitud inferiores (en partes por billón) en relación con el CO₂. En efecto, el CO₂ atmosférico ha incrementado su concentración por causas antropogénicas desde alrededor de 300 partes por millón (ppm) en la era preindustrial a

413 ppm en 2020. Los tres gases se expresan en una única unidad que es el dióxido de carbono equivalente (CO_2e), usando al PCG como factor de corrección. El CO_2e es la unidad de medida de la mitigación del cambio climático.

Las emisiones antropógenicas globales netas de GEI fueron de $59\pm 6,6$ Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$ en 2019, lo cual es aproximadamente un 12 % ($6,5$ Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$) más que en 2010 y un 54 % (21 Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$) más que en 1990. La tasa anual promedio durante la década 2010-2019 fue de $56\pm 6,0$ Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$, siendo $9,1$ Gt $\text{CO}_2\text{-eq}$ año-1 más alta que en la década 2000-2009. Éste es el mayor aumento registrado en las emisiones promedio por década (Arias et al. 2021).

La mayor parte del planeta ya está soportando extremos cálidos (incluidas las olas de calor), incluidos América del Norte, Europa, Australia, grandes partes de América Latina, África del Sur occidental y oriental, Siberia, Rusia y toda Asia. Algunos de estos extremos calientes recientes es altamente probable que se deban a la influencia humana. Hay pruebas suficientes para demostrar que muchas partes del mundo están siendo afectadas por un aumento de la sequía (IPCC, 2021).

Tres países que se caracterizan por su mayor desarrollo industrial y consumo energético son responsables de la mitad de las emisiones GEI, y por ende del calentamiento global: China (30,3%), Estados Unidos (13,4%), y la India (6,8%) (Fuente: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/co2-emissions-by-country>). Nuestro país sólo es responsable del 0,52%, ocupando el puesto número 30. Teniendo en cuenta que unos 200 países son monitoreados periódicamente por sus comunicaciones a la Convención Marco de Cambio Climático, el puesto de la Argentina lo hace estar visible como un contribuyente no despreciable al cambio climático.

Según el último inventario GEI de la Argentina, nuestro país se visibiliza por el aporte del sector Agricultura, Ganadería, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra (37%), donde la ganadería participa

con 21,6%, los cambios de uso de suelos y silvicultura con 9,8% y la agricultura con 5,8% (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2019).

La principal fuente de emisión de CO₂ es la generación de energía y el transporte por quema de combustibles fósiles (65%). En segundo lugar, aparece el cambio de uso de la tierra (forestería y otros uso de la tierra) con 11% (IPCC, 2014). Queda claro, entonces, que los principales esfuerzos de mitigación deben ser asumidos por el sector energético. Sin embargo, el sector cambios de uso de la tierra, pese a emitir menos, tiene la capacidad o potencial de compensar emisiones de GEI por captura y almacenamiento de carbono (IPCC, 2019).

Necesidad de mitigación del cambio climático, recurriendo a soluciones basadas en la naturaleza (SBN)

Los países firmantes del Protocolo de París en 2015, la Argentina entre ellos, se han comprometido a adoptar medidas concretas de mitigación del cambio climático para evitar aumentos de temperatura global que superen 1,5°C y que se alcance el objetivo de la neutralidad de carbono hacia mitad de este siglo. Este objetivo solo será factible si, además del reemplazo de fuentes de energía, no se recurre a las denominadas “Soluciones Basadas en la Naturaleza-SBN”, que consisten en la compensación de emisiones con el aumento de almacenes de carbono en bosques y suelos (IPCC, 2019; Smith et al., 2019; Mc Elwe et al., 2020).

La captura y almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo son procesos centrales de las SBN, las cuales incluyen un listado de prácticas basadas en el manejo de la agricultura y la ganadería, los suelos y los ecosistemas, con un potencial de compensación de emisiones de gases efecto invernadero (GEI) de hasta 3 gigatoneladas de dióxido de carbono equivalente por año. Estas SBN son un factor clave sin el cual no se podrá alcanzar la meta de

limitar los aumentos de temperatura media del planeta por encima de 1,5°C, para evitar cambios sin retorno en cambio climático y en biodiversidad (IPCC, 2018; IPCC, 2019; Smith et al., 2019; Mc Elwe et al., 2020).

Una gran parte de las SBN están pensadas para regiones y países con importantes superficies de ecosistemas naturales (e.g. bosques y selvas, humedales, etc) y suelos de uso agropecuario, como es el caso de la Argentina, que poseen un importante potencial de recuperar sus almacenes de carbono orgánico y así mitigar el cambio climático. Hasta el presente, la Argentina le ha prestado escasa atención a estas soluciones, lo cual es desaprovechar una oportunidad importante.

A diferencia de las métricas de las emisiones GEI en sectores como la energía, la industria y la agricultura, que están basadas en las Directrices de IPCC (IPCC, 2006, 2019), y que son usadas en sus informes de Cambio Climático por los países miembros de Naciones Unidas, no existe similar consenso en las métricas de medición de las capturas y almacenamiento de carbono, especialmente en los suelos de uso agropecuario. Ello genera no pocos desacuerdos cuando se intenta medir los potenciales de compensación de SBN, basadas en el aumento de los almacenes de carbono orgánico de los suelos (Viglizzo et al. 2019; Villarino et al. 2019; Viglizzo et al. 2020).

Se pueden identificar seis áreas principales que generan dudas y controversias, o que dificultan una mayor adopción del incremento de los almacenes de carbono en los planes de neutralidad de carbono: a) el potencial de captura y almacenamiento de carbono por los sistemas ganaderos basados en el pastoreo directo de pastizales naturales y recursos silvopastoriles; b) el tiempo de respuesta de los suelos de uso agropecuario para tener ganancias de carbono y para llegar a la saturación; c) el máximo nivel lograble de carbono con las prácticas de manejo que usan los productores agropecuarios, y la estabilidad de esos niveles de carbono ante la

ocurrencia de eventos climáticos extremos (e.g. sequías, olas de calor, incendios, etc.); d) el elevado costo en recursos económicos y tiempo que implican los muestreos periódicos de suelo y envío de muestras al laboratorio; e) el aún escaso uso de modelos de carbono adecuadamente validados y calibrados a nivel local; y f) la falta de métodos de monitoreo basados en sensores, remotos o cercanos, que permitan abaratar los costos y el tiempo insumido.

¿Cómo afecta todo esto a la Argentina?

La Argentina ha sido afectada por el cambio climático. En la mayor parte de la Argentina continental no patagónica hubo un aumento de hasta 0,5°C en la temperatura media entre 1960 y 2010, mientras que en Patagonia el aumento fue el doble. En ese periodo la precipitación aumentó en casi todo el país, aunque con variaciones interanuales (Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, 2022). Se han verificado eventos extremos que podrían sintetizarse en olas de calor y sequías, incendios de pajonales, e inundaciones, todo esto asociado con el fenómeno ENSO (Alternancia Niño-Niña) (Barros et al., 2008; Rusticucci et al. 2017).

Resulta claro que nuestro país sufre -como el resto del planeta- las consecuencias del cambio climático, cuyos orígenes son de tipo global. Sin embargo, y pese a ello, la Argentina asume una responsabilidad planetaria importante en los compromisos de mitigación del cambio climático, dado principalmente por cuatro factores: a) la historia de deforestación del país que ha contribuido al cambio climático y las pérdidas de biodiversidad; b) la actividad agropecuaria que es fuente clave de emisiones GEI; c) la elevada superficie de suelos negros (Molisoles) que son considerados una de las principales reservas de carbono del planeta, y d) la ganadería extensiva en pastizales, pasturas, arbustales y sistemas silvo-pastoriles.

Escaso conocimiento y desactualización de los almacenes de carbono de la Argentina

Los bosques subtropicales de la Argentina han estado sujetos a deforestación desde principios del siglo 20, y ello se ha acentuado a fines de ese siglo e inicios del actual, debido a las presiones de conversión para hacer pasturas y sembrar soja (Gasparri et al., 2013; MAdyS, 2018). Recién en los últimos años, a partir del uso de imágenes satelitales, se pudo acceder a un inventario de los recursos boscosos de la Argentina y su estado de conservación. Una de las consecuencias las hemos visto en la última comunicación nacional de cambio climático, que mostró que nuestro país pasó de ser un emisor de carbono por cambios de uso de la tierra en la primer década del siglo, a ser un compensador o secuestrador de carbono a partir de 2020, probablemente debido a la menor tasa de deforestación en el norte, por la sanción e implementación de la llamada Ley de Bosques (MAdyS, 2017). De cualquier manera, es mucho lo que falta conocer sobre el estado de nuestros bosques. Se han informado notorias discrepancias por incumplimiento de la ley de bosques, identificadas por más de 700 mil hectáreas de deforestación ilegal (Aguiar et al., 2018; Vallejos et al., 2021).

Mucho menos es lo que se conoce sobre los sistemas de pastizal y de monte nativo en regiones semiáridas y áridas, que sirven de recurso forrajero a una ganadería extensiva de rumiantes (Viglizzo et al., 2019).

Los suelos son el otro gran almacén de carbono de nuestro país. De acuerdo con el mapa global de carbono orgánico de los suelos realizado por FAO e ITPS (2018), la Argentina está entre los 10 países con mayor reserva de carbono en el mundo. Ello se origina en la gran superficie cubierta por Molisoles de elevada fertilidad. Sin embargo, debe alertarse acerca de la desactualización de los datos originales que provienen de mapeos realizados varias décadas atrás. Ello condiciona la validez de esta información pues es muy probable que en muchos casos los valores de stock sean superiores

a los realmente existentes en la actualidad, tal como lo sugieren recientes estudios del INTA (Sainz Rozas et al., 2019).

Esta falta de actualización impide conocer información esencial sobre el estado de nuestros suelos, como su estado real actual, su nivel de insaturación de carbono, y los probables tiempos de recuperación del carbono si se implementan prácticas de manejo sustentable.

Se sabe que los suelos argentinos de uso agropecuario han perdido entre 30 y 60% de su carbono original y que han sido afectados por procesos de degradación física, química y biológica, entre ellos algunos no reversibles como la erosión (Casas y Albarracín, 2015). Se conoce menos la posibilidad de restauración de muchos de estos suelos, cuando ya han llegado a un nivel de degradación de difícil reversibilidad.

Falta de trazabilidad de los cambios en C y en biodiversidad

La Argentina es el único gran país agroexportador que no posee sistemas de monitoreo periódico de la calidad de sus suelos, tal como lo poseen otros países como Australia o Francia. Esta falta de información se extiende a otros aspectos cruciales de la vida en los eco y agrosistemas como es la biodiversidad.

Existen, sin embargo, esfuerzos desde instituciones oficiales. En primer lugar, el Observatorio Nacional de Degradación de Tierras y Desertificación (ONDTyD), implementado por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable y por el INTA, que ha venido trabajando desde años con foco especialmente en tierras áridas. En el caso de los suelos de uso agropecuario, los esfuerzos han sido hasta ahora parciales y con escaso apoyo de financiación y recursos de infraestructura. Como ejemplo, el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación en conjunto con el Instituto de Suelos del INTA han creado el Observatorio Nacional de Suelos Agropecuarios (ONSA), (Res. Minagro 169/17), el cual es una

propuesta de política pública, que hasta el presente recibió muy escaso financiamiento. Este Observatorio incluye algo esencial para el país como la creación de una Edafoteca, para preservar para su consulta futura, las muestras de suelos de los mapeos que realiza el INTA. Algo similar a lo que realiza Francia con su sistema Infosol (<https://www.carbo-extreme.eu/index.php/Consortium/INRAInfoSol>).

Sus Implicancias

¿Qué puede suceder si no cambiamos, o si los cambios necesarios de adoptan tarde?

Cuando hablamos de “Implicancias” nos estamos refiriendo al costo de la inacción, o de intervenir muy tarde para evitar los problemas mencionados. Un indicio de lo que puede llegar a suceder lo dio el IPCC en su Informe sobre Calentamiento Global a 1,5°C, alertando sobre las medidas urgentes que se deben tomar para evitar un aumento de temperatura mayor a ese nivel umbral.

A nivel global, la desatención en las capturas y almacenes de carbono, por ejemplo, lo que sería un escenario “*business as usual*”, conduciría a un aumento dramático de emisiones GEI y aumentos de temperatura media por encima de 4°C. Los riesgos son sitio-específicos y difieren por región, pero es muy probable que la vida en el planeta sea afectada por escasez de agua dulce, pérdidas irreversibles de vegetación y de fauna silvestre, degradación de permafrost en latitudes altas, menores rendimientos en cultivos tropicales, e inestabilidad en la oferta de alimentos (IPCC, 2018). De allí que las elecciones socio-económicas que se hagan pueden aminorar o pueden exacerbar los riesgos relacionados al clima así como la influencia de la tasa de aumento de temperatura. Para evitar estos cambios sin retorno, deberán implementarse políticas que limiten los aumentos de temperatura media global por debajo de 1,5°C, como mucho 2°C.

Dado que un 65% de las emisiones del planeta se deben a la generación de energía, donde el uso de energía fósil es principal contribuyente a las emisiones de CO₂, una parte mayoritaria del esfuerzo de mitigación debe recaer en el reemplazo por fuentes de hidroeléctrica, eólica y solar, entre otras, en conjunción con cambios en modos de vida (transporte, alimentación, etc.). Sin embargo, este objetivo sólo será logable si se adoptan cambios tales como limitar la tasa de crecimiento poblacional, reducir las desigualdades sociales y aumentar los ingresos económicos, producir alimentos en sistemas bajos en emisiones de carbono, y establecer una efectiva regulación del uso de la tierra con alta capacidad adaptativa de la población (IPCC, 2015).

En definitiva, como se manifestó, las medidas pasan obviamente en gran parte por el reemplazo de la quema de combustibles fósiles como el carbón por fuentes de energía renovable, tanto para generación de energía, como para transporte. Sin embargo, para evitar aumentos por encima de 1,5°C será necesario también basarse en soluciones basadas en la naturaleza.

Implicancias de la inacción a nivel local

En el orden local (nacional o provincial), siendo que el cambio y la variabilidad del clima lo seguiremos soportando, sus consecuencias o impactos variarán notablemente en función de las medidas de adaptación que se tomen, las cuales pueden ser de tipo planificado (usualmente por el sector estatal), o autónomas (usualmente por los mismos pobladores). Este tipo de respuestas puede moderar el nivel del impacto, disminuyendo la vulnerabilidad de los seres humanos a eventos extremos (IPCC, 2014, Taboada et al. 2022).

En este sentido, desconocer el estado de los recursos de bosques, los almacenes de carbono sobre y dentro del suelo y la biodiversidad, implica que el país también desconoce cual es el impacto

no solo de los cambios del clima, sino también de los cambios de uso de la tierra sobre esos aspectos. No será posible planificar una política de adaptación y de mitigación del cambio climático sino se conoce cual es el estado de los ecosistemas y de los almacenes de carbono, ni tampoco su potencial de recuperación ante políticas determinadas.

Consecuencias sobre las exportaciones

Existe un contexto internacional donde surgen iniciativas para regular los métodos de producción de los países agroexportadores. Por ejemplo, las medidas de prohibición de compras de biocombustibles en la Unión Europea, de áreas donde hubo deforestación (“EU Renewable Energy Directive, RED”) (Atanasiu, 2010). Se hace foco en los denominados Servicios Ecosistémicos que no poseen un valor de mercado intrínseco, como por ejemplo los servicios de mantenimiento de stocks de carbono, reservas de biodiversidad y los de regulación de la calidad del agua y del aire (Robinson et al. 2009). Esta mayor consideración se percibe en los canales de comercio minorista de la Unión Europea, los cuales han sufrido fuertes cambios y concentración de actores, con aparición de productos de marca propia. En la mayoría de los 21 países nucleados en la OCDE (Organización de Países para la Operación y el Desarrollo Económico) se han establecido sistemas de trazabilidad para alimentos y productos agrícolas específicos a nivel nacional (Charlebois et al. 2014).

Aquellos países poseen sistema de trazabilidad más estrictos (“progresivo”) son regidos por la regulación obligatoria comunitaria 178/2002, que se aplica únicamente a los productos domésticos importados que regula a los alimentos, forrajes, animales productores de alimentos y cualquier otra sustancia incorporada en la alimentación. Estos requisitos de trazabilidad son “moderados” en Estados Unidos y Canadá, países que se rigen por normas

acordadas para el comercio bilateral entre ellos, y solo en un caso (China) los requisitos son “regresivos”. Como es sabido, nuestro país concentra gran parte de sus exportaciones a países del sudeste asiático, caracterizados por sus bajos requisitos de admisión para productos importados.

La Argentina ha realizado importantes esfuerzos en mejorar la eficiencia de su sistema productivo, fundamentalmente en la incorporación de tecnologías de manejo en gran escala, como el manejo de suelos en siembra directa, rotaciones más intensivas con cultivos de cobertura, la agricultura por ambientes y de precisión, etc. (Satorre y Andrade, 2021). Ello trajo indudables beneficios ambientales, principalmente en la preservación de stocks de carbono en los suelos y el control de la erosión acelerada. Todos estos cambios estuvieron vinculados a demandas de mercados internacionales, que nos ha posicionado como un productor de *commodities* y productos con algún nivel de transformación (e.g. aceites y derivados). Este mejor manejo de los sistemas productivos con herramientas de precisión determinó menos uso de plaguicidas, como el herbicida glifosato ampliamente cuestionado por algunos países compradores. Surge aquí la necesidad u oportunidad de implementar sistemas de trazabilidad de las producciones del campo, donde se diferencien los procesos “aguas arriba” y “aguas abajo”.

En los países en desarrollo las normas suelen ser más laxas, a excepción de los productos incluidos en cadenas de suministro para mercados de alto valor, particularmente exportaciones (e.g. café, cacao, miel, carnes de alta calidad, etc.), en los que este enfoque de trazabilidad también ha sido especialmente aplicado. En términos generales, a nivel global se observa que los estándares de importación de los productos afectan negativamente la decisión de los exportadores de exportar a un mercado determinado, o dicho de otra manera, un exportador ante la posibilidad de elegir entre dos posibles destinos de exportación, elegirá muy probablemente el país con menores estándares de producto (Ferro et al., 2015).

Estrategias

A nivel global y nacional

Acuerdos entre países para evitar calentamiento mayor a 1,5°C

Dado que los problemas y sus implicancias son de origen global, algunas de las estrategias también deben tener ese alcance, quedando para nuestro país la obligada participación en acciones que llevan a cabo el conjunto de naciones para mitigar el cambio climático. La acción de alcances mas amplios se ha encarado a partir de los acuerdos firmados en la COP 21 (*Conference of Parties*) de Paris en 2015, cuando la mayor parte de los países del planeta se comprometieron a encarar acciones concretas para mitigar el cambio climático. Entre esas acciones, se destacan los Compromisos No Determinados (NDC, por sus siglas en inglés) de los países que envían sus comunicaciones nacionales a la Convención Marco de Cambio Climático de Naciones Unidas (UNFCCC, por sus siglas en inglés). En dichos NDC los países informan los compromisos de mitigación del cambio climático, entre cuyas acciones ineludiblemente figura el reemplazo de fuentes de energía fósil y la conservación y acrecentamiento de los almacenes de carbono. Este es un cambio notable pues los NDC obligan a todos los países a informar en sus Comunicaciones Nacionales a la UNFCCC que medidas están tomando o que planean tomar frente al cambio climático. Se empieza a poner especial atención en el manejo de los ecosistemas terrestres y oceánicos.

En este contexto, la Argentina posee una ventaja diríamos coyuntural, dado que los picos de deforestación y pérdidas de pastizales sucedieron hace ya 20 o más años en muchos casos. La mayor parte de las emisiones GEI del sector agropecuario vienen siendo causadas por los cambios de uso de la tierra, ello es emisiones de CO₂ por deforestación y mineralización de materia orgánica de los suelos (TCN, 2018). En el caso de los suelos, se establece un periodo de 20 años a partir de cuando se produjeron los cambios de

uso o de manejo, periodo que está próximo a expirar en el caso de muchos de nuestros sistemas que fueron deforestados o entraron en manejos de siembra directa hace aproximadamente 20 años. Es por ello, por lo que todo cambio en sentido contrario, como la recuperación de bosques, o de la materia orgánica de los suelos, que se inicie en el presente, tendrá una ventana de 20 años hacia futuro para que el país pueda contabilizar capturas de carbono. Esta política permitiría a la Argentina tener balances positivos de carbono en el sector Cambios de Uso de la Tierra, y reducir las emisiones informadas a la UNCCCDD.

Soluciones basadas en la naturaleza (SBN)

Las opciones de respuesta al cambio climático basadas en la naturaleza incluyen un conjunto de acciones para el manejo de la agricultura, los suelos, los bosques, y los ecosistemas, que tienen por objetivo mitigar y adaptarse al cambio climático, prevenir la degradación de tierras y la desertificación, y asegurar la seguridad alimentaria (IPCC, 2019; Smith et al. 2019; McElwe et al., 2020). Existen algunas como incrementar la productividad en la producción de alimentos, la agroforestería, la reducción de la deforestación, el aumento de los niveles de materia orgánica de los suelos, el manejo de los incendios, y la recuperación de humedales costeros y continentales, que son señalados como de alto potencial de mitigación (mas de 3 Gigatoneladas de CO₂eq por año) del cambio climático. Una gran parte de este potencial está basado en la captura y almacenamiento de CO₂ atmosférico por fotosíntesis.

El sector agropecuario argentino posee un alto potencial de mitigación mediante el uso de SBN, algo que en parte se ha iniciado por el creciente uso de sistemas conservacionistas basados en siembra directa, con rotaciones mas intensivas de cultivos, uso de herramientas de precisión y dobles cultivos, sistema de pastoreo racional, etc. Se verifica un aumento en la eficiencia

de producción en muchos establecimientos (Satorre y Andrade, 2020). Sin embargo, queda aún un largo camino por recorrer. En primer lugar, mas de la mitad de los campos se maneja bajo arrendamiento, lo cual no es en si mismo negativo, siempre y cuando se comprometan los contratos a hacer rotaciones de cultivos, entre otras opciones de manejo sustentable.

Es probable que exista falta de incentivos para que una mayor cantidad de productores adopten manejos más sustentables que capturen y almacenen carbono. Por ejemplo, la implementación de esquemas de diferenciación y trazabilidad de productos basado en las huellas ambientales (carbono, hídrica y biodiversidad). Esta propuesta se une a lo manifestado previamente referido al destino actual de nuestras exportaciones, mayormente a países de requisitos “regresivos” (Charlebois et al., 2014; INDEC, 2022).

Siguiendo este camino de mayor trazabilidad y diferenciación, sería deseable que la Argentina trabaje en una “Marca País”, tal como lo tienen otros países como nuestro vecino Uruguay (Uruguay País Natural). Existen muchos productos argentinos apreciados en el mundo (por ejemplo, la carne argentina) que se ofrecen sin mayor diferenciación, o en el mejor de los casos con acuerdos de venta entre privados, como los acuerdos de venta de carne Kosher a Israel que pasa por frigoríficos debidamente habilitados, o la “carne engordada a pasto” que se ofrece en restaurantes del Reino Unido, o en parrillas de carne argentina. Estos caminos comerciales de productos trazados deben ser promovidos por el Estado argentino, como una mejor defensa de nuestras exportaciones.

Este incentivo promovería un circuito virtuoso con mayores inversiones en el campo, mas vida rural y mejoras de manejo del pastoreo, todas acciones que conducen a mas captura y almacenamiento del carbono en los suelos.

A nivel local

Recuperación de reservas de carbono en ecosistemas (bosques, arbustales, pastizales y humedales)

Existe una creciente demanda de incorporar los ambientes naturales, ecosistemas boscosos y humedales costeros y continentales, a las políticas de mitigación del cambio climático. La Argentina posee unas 33 millones de hectáreas de monte nativo y 5,687 millones de hectáreas de humedales considerados sitios RAMSAR. Muchos de estos ambientes constituyen importantes almacenes de carbono, que han sido afectados por degradación e incendios recientes.

Lo primero que debe hacer el país es evitar las violaciones al cumplimiento de la ley de bosques, evitando fugas de carbono por deforestación, por un lado, y sancionar la ley de protección de humedales (en tratamiento hoy en el Parlamento).

Con estas dos normas básicas, se puede pasar a la siguiente etapa que es el monitoreo de los almacenes de carbono en tierras que en muchos casos estarán en restauración.

De persistir en el mismo camino, sin sistemas de trazabilidad, en especial huella de carbono, seguiremos atados a mercados con bajas exigencias de trazabilidad, con menor valor por tonelada vendida, lo cual se torna riesgoso a largo plazo por baja diversidad de compradores.

La Argentina debe encarar los mecanismos para garantizar la trazabilidad y la huella ambiental de los productos producidos, para asegurar la entrada a mercados de mayor exigencia en requisitos ambientales.

Observatorio de degradación de suelos y monitoreo periódico del carbono. Conservación de los suelos de uso agropecuario. Políticas de promoción

Ya existen dos observatorios, uno que viene trabajando en tierras áridas y otro con un foco en suelos de uso agropecuario, por

lo que no hace falta crear nada nuevo. Simplemente fortalecer en financiamiento y en recursos a lo ya existente, que es sin duda el camino correcto para paliar la crónica escasez y antigüedad de información sobre el estado de los suelos de la Argentina. Es deseable que el ONSA se integre con el ONDTyD y ambos sirvan de base para el monitoreo periódico de los almacenes de carbono y el estado de degradación de los suelos del país. No obstante, el funcionamiento efectivo de ambos requiere del apoyo de las provincias argentinas, que son las dueñas de los recursos naturales. La actualidad de las provincias en cuanto a equipos profesionales especializados es dispar, destacándole casos como Entre Ríos (pionera en conservación de suelos) y Córdoba que ha mapeado recientemente los contenidos de materia orgánica de los suelos (IDECOR, 2021).

Referencias

- Aguiar, S., Mastrangelo, M. E., García Collazo, M. A., Camba Sans, G. H., Mosso, C. E., Ciuffoli, L., & Verón, S. R. (2018). ¿Cuál es la situación de la Ley de Bosques en la Región Chaqueña a diez años de su sanción?: Revisar su pasado para discutir su futuro. *Ecología Austral*, 28, 400-417.
- Arias, P.A., N. Bellouin, E. Coppola, R.G. Jones, G. Krinner, J. Marotzke, V. Naik, M.D. Palmer, G.-K. Plattner, J. Rogelj, M. Rojas, J. Sillmann, T. Storelvmo, P.W. Thorne, B. Trewin, K. Achuta Rao, B. Adhikary, R.P. Allan, K. Armour, G. Bala, R. Barimalala, S. Berger, J.G. Canadell, C. Cassou, A. Cherchi, W. Collins, W.D. Collins, S.L. Connors, S. Corti, F. Cruz, F.J. Dentener, C. Dereczynski, A. Di Luca, A. Diongue Niang, F.J. Doblas-Reyes, A. Dosio, H. Douville, F. Engelbrecht, V. Eyring, E. Fischer, P. Forster, B. Fox-Kemper, J.S. Fuglestedt, J.C. Fyfe, N.P. Gillett, L. Goldfarb, I. Gorodetskaya, J.M. Gutierrez, R.

- Hamdi, E. Hawkins, H.T. Hewitt, P. Hope, A.S. Islam, C. Jones, D.S. Kaufman, R.E. Kopp, Y. Kosaka, J. Kossin, S. Kravovska, J.-Y. Lee, J. Li, T. Mauritsen, T.K. Maycock, M. Meinshausen, S.-K. Min, P.M.S. Monteiro, T. Ngo-Duc, F. Otto, I. Pinto, A. Pirani, K. Raghavan, R. Ranasinghe, A.C. Ruane, L. Ruiz, J.-B. Sallée, B.H. Samset, S. Sathyendranath, S.I. Seneviratne, A.A. Sörensson, S. Szopa, I. Takayabu, A.-M. Tréguier, B. van den Hurk, R. Vautard, K. von Schuckmann, S. Zaehle, X. Zhang, and K. Zickfeld, 2021: Technical Summary. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33–144. doi:10.1017/9781009157896.002.
- Atanasiu, B. 2010. The role of bioenergy in the National Renewable Energy Action Plans: a first identification of issues and uncertainties. Intelligent Energy Europe. Institute European Environmental Policy, 21p. En http://www.biomassfutures.eu/work_packages/final_deliverables/WP8/D8.4%20bioenergy_in_NREAPs.pdf.
- Barros, V.; Doyle, M.; Camilloni, I. 2008. Precipitation trends in southeastern South America: relationship with ENSO phases and with low-level circulation. *Theor Appl Climatol* 93, 19–33. <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0329-x>.
- Casas, R.R.; Albarracín, G. F. 2015. El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina. Tomos I y II. la ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires: Fundación Ciencia, Educación y Cultura.

- FECIC, 2015. v. 1, 608 p.; 23 x 16 cm. ISBN 978-950-9149-39-7.
- Charlebois, S.; Sterling, B.; Haratifar, S.; Naing, S. K. 2014. Comparison of Global Food Traceability Regulations and Requirements. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 13, 1104-1123.
- FAO and ITPS. 2015. Status of the World's Soil Resources (SWSR) – Main Report. Food and Agriculture Organization of the United Nations and Intergovernmental Technical Panel on Soils, Rome, Italy. Disponible en: <https://www.fao.org/3/i5199e/i5199e.pdf>
- FAO and ITPS. 2018. Global Soil Organic Carbon Map (GSOC-map) Technical Report. Rome. 162 pp. Disponible en: <https://www.fao.org/3/I8891EN/i8891en.pdf>.
- Ferro, E.; Otsuki, T.; Wilson, J. S. 2015. The effect of product standards on agricultural exports. *Food Policy* 50, 68-79.
- Gasparri, N. I., Grau, H. R., & Angonese, J. G. 2013. Linkages between soybean and neotropical deforestation: coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environmental Change*, 23, 1605-1614.
- Herrero-Jáuregui, C.; Camba Sans, G.; Andries, D. M.; Aguiar, S.; Fahrig, L.; Mastrangelo, M. 2022. Past and present effects of habitat amount and fragmentation per se on plant species richness, composition and traits in a deforestation hotspot, *Biological Conservation* 276, 109815, ISSN 0006-3207, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2022.109815>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0006320722003688>)
- IDECOR, 2021. Nuevo mapa de Materia Orgánica del Suelo (2021) de la Provincia de Córdoba. 17 noviembre, 2021. Dis-

ponible en: <https://www.idecor.gob.ar/nuevo-mapa-de-materia-de-organica-del-suelo-2021-de-la-provincia-de-cordoba/>

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2022/06/SPM_version_report_LR.pdf

IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)].

MAYDS. 2017. Informe de estado de implementación 2010-2016. Ley N° 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Argentina (2017)

Robinson, D.A.; Lebron. L.; Vereecken, H. 2009. On the definition of the natural capital of soils: a framework for description, evaluation and monitoring. Soil Science Society Journal 73, 1904-1911.

- Rusticucci, M.; Barrucand, M.; Collazo, S. 2017. Temperature extremes in the Argentina central region and their monthly relationship with the mean circulation and ENSO phases. *International Journal of Climatology*, 37(6), 3003-3017.
- Sainz Rozas, H.; Eyherabide, M.; Larrea, G.; Martínez Cuesta, N.; Angelini, H.; Reussi Calvo, N.; Wyngaard, N. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Actas Simposio Fertilidad 2019, Rosario. Disponible en: <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/02/SAINZ-ROZAS-Fertilidad-2019-acta.pdf>.
- Satorre, E. H.; Andrade, F. H. 2021. Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. *Ciencia Hoy* 29 (173), 19-27.
- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable. 2019. Inventario Nacional de Gases Efecto Invernadero de la república Argentina. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, Presidencia de la Nación. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/inventario_de_gei_de_2019_de_la_republica_argentina.pdf.
- Taboada, M.Á., Costantini, A.O., Busto, M., Bonatti, M., Sieber, S. 2021. Climate change adaptation and the agricultural sector in south american countries: Risk, vulnerabilities and opportunities. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo*, 2021, 45, e0210072.
- Vallejos, M.; Camba Sans, G.H.; Aguiar, S.; Mastrángelo, M. E.; Paruelo, J. M. 2021. The law is spider's web: An assessment of illegal deforestation in the Argentine Dry Chaco ten years after the enactment of the "Forest Law", *Environmental Development* 38, 100611, ISSN 2211-4645, <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2021.100611>.

- Viglizzo, E. F., Taboada, M. A., Vázquez-Amábile, G., Ricard, F. 2020. Response to the Letter to the Editor “The role of South American grazing lands in mitigating greenhouse gas emissions. A reply to: ‘Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review’ by .”, *Science of the Total Environment* (2020), <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140119>.
- Viglizzo, E.F., Taboada, M.A., Vázquez-Amábile, G., Ricard, M.F. 2020. Response to the Letter to the Editor “The role of South American grazing lands in mitigating greenhouse gas emissions. A reply to: ‘Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review’ by Viglizzo et al. (2019).” *Science of the Total Environment*, 2020, 740, 140119.
- Villarino, S. H., Pinto, P., Della Chiesa, T., Jobbágy, E. G., Studdert, G. A., Bazzoni, B., & Piñeiro, G. 2020. The role of South American grazing lands in mitigating greenhouse gas emissions: A reply to» Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review», by Viglizzo et al.,(2019). *Science of the Total Environment*, 740.

Capítulo 5

La economía del carbono en el sector rural argentino

Ernesto F. Viglizzo

El problema

El carbono es un elemento químico esencial para la vida y el funcionamiento de los sistemas biológicos, y es utilizado por los seres vivos como fuente de energía metabólica para el crecimiento e interacción con el ambiente (Odum, 1969). Sin embargo, la masiva destrucción oxidativa de las reservas orgánicas y minerales de carbono del planeta por acción humana, y su liberación a la atmósfera, son en parte responsables del llamado “efecto invernadero”, causa principal del calentamiento y el cambio climático global del planeta (IAASTD, 2009).

La Argentina posee reservas abundantes y diversas de carbono que se encuentran distribuidas de manera diferenciada en sus distintas áreas climáticas y sistemas biofísicos, como ecosistemas, biomas, plantas, animales y microbios (Viglizzo et al., 2011). Mientras las regiones boscosas tropicales y subtropicales, y sus pastizales y sabanas, muestran gran parte del carbono localizado en la biomasa aérea, en las regiones semiáridas y frías la mayor parte se localiza en la biomasa subterránea (raíces y microorganismos). Cuanto más riguroso es el ambiente, más tienden las plantas a traslocar sus reservas de carbono hacia sitios protegidos de las inclemencias ambientales, es decir, de-

bajo de la superficie del suelo. La deforestación en los trópicos puede causar una pérdida rápida e intensa del carbono localizado en la biomasa aérea, lo cual no ocurre en regiones áridas y frías cuyas reservas yacen sobre todo debajo de la superficie.

La tasa anual de carbono emitido por el sector agropecuario (sin considerar el impacto de los cambios en el uso de la tierra) es un foco de atención creciente en Argentina y otros países productores de alimentos, fibras, energía, etc. Sin embargo, Argentina no muestra tasas lineales y persistentes de emisión en los último 60 años (Figura 1) como ha ocurrido en Brasil, Paraguay o Uruguay (Viglizzo, 2021).

¿Cuán importante es la participación argentina en las emisiones globales? Si se considera un período de 30 años (1990-2020), los datos de fuentes internacionales demuestran que la participación de la Argentina en las emisiones globales es muy poco relevante (menos de un 1 % en la actualidad). La tasa de emisión de carbono alcanzó un máximo hacia comienzos del tercer milenio, pero luego comenzó a declinar debido a que las emisiones del planeta por quema de combustibles fósiles crecieron a mayor velocidad que las emisiones del país.

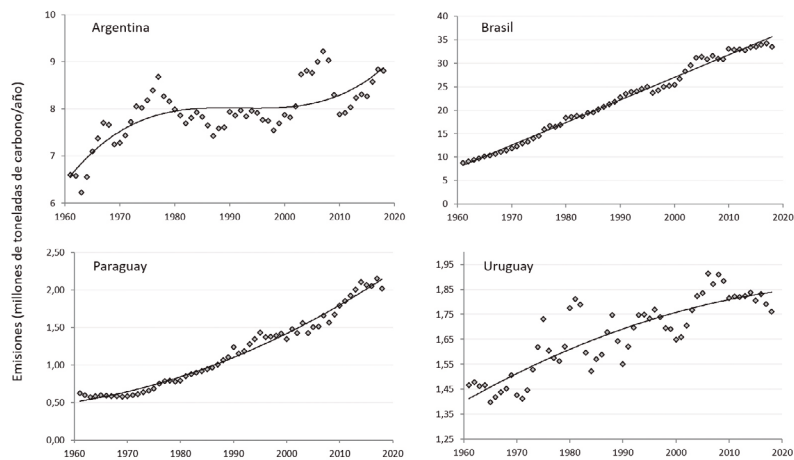


Figura 1. Tendencia en las emisiones de carbono del sector agropecuario en Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay entre 1960 y 2020 (*Fuente: Estimaciones a partir de datos estadísticos de FAOSTAT, 2021*).

Aproximadamente un 40 % de las emisiones del país son atribuibles al sector rural, y menos del 20 % a la ganadería bovina (FAOSTAT, 2022; Our World in Data, 2022). Los cambios en el uso de la tierra (que incluye el desmonte de bosques nativos y la conversión de pastizales naturales en tierras cultivadas), las distintas actividades ganaderas y los cultivos agrícolas en conjunto, explican las emisiones provenientes del sector rural argentino.

La incorporación de tecnologías modificó el patrón de emisión. La siembra directa, por ejemplo, implicó una drástica reducción en el uso de combustibles fósiles que antes se consumían en labores de labranza. A su vez, esa sustitución implicó una menor tasa de oxidación de la materia orgánica del suelo y la consecuente pérdida de carbono.

En general se admite que el desmonte de bosques nativos y la ganadería de rumiantes explican la mayor parte de las emisiones del sector rural (SAyDS, 2019). Hay un evidente paralelismo entre las tasas de deforestación y emisión de carbono (Figura 2) por pérdida de áreas forestales (Global Forest Watch, 2021). Argentina experimentó un aumento de las tasas de desmonte hasta comienzos de la década de 2010, pero desde entonces declinó de manera significativa (Ricard et al., 2021).

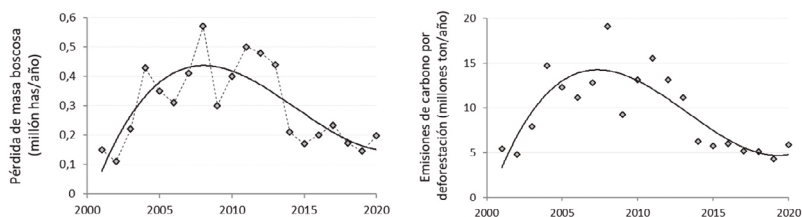


Figura 2. Estimación de la tasa anual de deforestación (gráfico de la izquierda) y de las emisiones de carbono (gráfico de la derecha) atribuida a deforestación en Argentina (*Fuente: Ricard et al., 2021, estimaciones a partir de datos de Global Forest Watch, 2021*).

La ganadería de rumiantes, por su parte, es foco de escrutinio y debate. Durante los últimos 15 años existe una polémica de alcance global en relación a los enfoques y métodos para evaluar las emisiones en ganadería. La historia comenzó en 2006 a partir de un influyente informe publicado por la FAO titulado “La Larga Sombra del Ganado” (Steinfeld et al., 2006). En el mismo se atribuyó al ganado bovino el 18 % de las emisiones de carbono del planeta. Un posterior informe FAO del 2013 (Gerber et al., 2013) moderó la crítica y bajó ese porcentaje a un 14.5 %, pero sin resolver un problema que, en esencia, es metodológico ¿Cuál es ese problema? Que además de las emisiones propias (metano y óxido nitroso), se le atribuyen al ganado emisiones de actividades conexas que, en sentido estricto, no le son propias. Esto ocurre, por ejemplo, con las emisiones generadas por empresas manufactureras que fabrican insumos utilizados por la ganadería (fertilizantes, plaguicidas, combustibles, alimentos, etc.). Pero también ocurre con las emisiones post prediales que no controla el productor ganadero, como las que ocurren en los frigoríficos, el transporte y la distribución de la carne. Esto es detectable en estudios que utilizan el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto (por ejemplo, la carne bovina). Existe, por tanto, un debate no resuelto.

El Análisis del Balance de Carbono (ABC) se presenta como un enfoque alternativo al Análisis del Ciclo de Vida (ACV) de un producto. Desde la perspectiva del ABC es necesario estimar tanto las emisiones como la captura y almacenamiento de carbono en el sistema analizado (el predio, el ecosistema, el país). En el ABC la unidad de referencia no es el kg o ton de producto como propone el ACV, sino la hectárea de tierra.

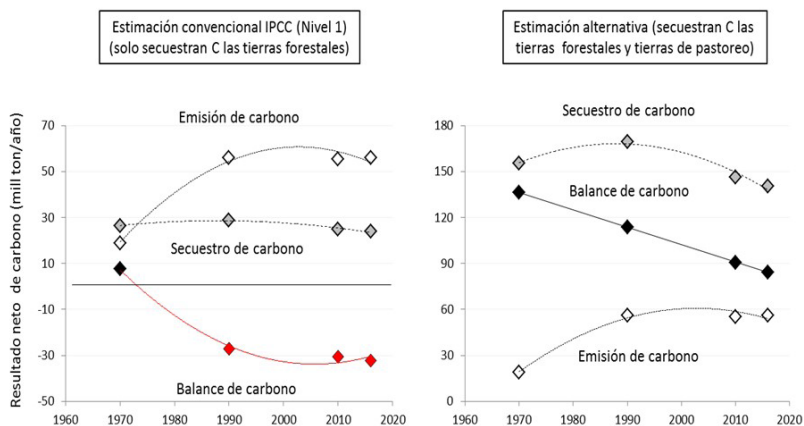


Figura 3. Estimación del balance de carbono en el sector agropecuario de Argentina a través de dos métodos alternativos de contabilización de la captura y almacenaje de carbono (*Fuentes: elaborado a partir de datos de EDGAR 4.2, 2021; WRI, 2021; Viglizzo et al., 2019*)

Una vez calculadas las emisiones por hectárea según las guías metodológicas del IPCC (1996/2006) es necesario estimar cuánto carbono pueden potencialmente capturar y almacenar las tierras de pastoreo y las áreas boscosas de Argentina. La captura y secuestro de carbono es el factor que falta para estimar el balance de carbono neto, es decir, la diferencia entre lo que se gana y lo que se pierde en un año. Gran parte de los países en desarrollo aplican el método más simple recomendado por el IPCC (1996/2006/2019), o sea nivel 1 (o Tier 1), que consiste en aplicar factores de secuestro de carbono por defecto (default values) únicamente sobre las tierras forestales. La exclusión de otras tierras ha llevado a omitir grandes áreas de pastoreo como pastizales, sabanas, pasturas implantadas, arbustales, sistemas silvo-pastoriles, regiones semi-desérticas, etc. que son importantes sumideros potenciales de carbono. Las tierras de pastoreo en Argentina ocupan la mayor parte de la superficie

territorial. A la izquierda de la Figura 3 se muestra el balance de carbono basado únicamente en las tierras forestales. A la derecha se muestra cómo se modificaría el balance de carbono si además de los bosques se consideraran las tierras de pastoreo (Viglizzo et al., 2019).

Implicancias

Sin duda, existe una razón ética fundamental para que la Argentina, como miembro de una comunidad internacional, asuma compromisos para reducir las emisiones de carbono que afectan al planeta. Pero existe también una razón pragmática para hacerlo: evitar sanciones que afecten el acceso a los mercados agropecuarios (World Economic Forum, 2022). Aparecen en el horizonte amenazas de restricción y penalización comercial para los productos de aquellos países que desatienden la problemática doméstica del carbono. Por ejemplo, el Acuerdo Verde de la UE (*European Green Deal*) sancionado por el Parlamento Europeo (European Commission, 2019), expresa la decisión de comerciar con países que logren demostrar, mediante evidencia científica verificable, que sus productos exportables acreditan una “carga” de carbono tolerable a los estándares europeos. En el caso de los alimentos sudamericanos, el principal foco de escrutinio se concentra en la deforestación de bosques nativos y en la producción de carnes y lácteos bovinos evaluados dentro del marco metodológico del Análisis de Ciclo de Vida.

Dado que las presiones de mitigación están en el ojo de la tormenta, cada vez más empresas rurales de Argentina vinculadas a la exportación de productos agropecuarios intentan conocer su Huella de Carbono a partir de un ACV que estime la emisión de los eslabones más significativos de la cadena. Pero se omite que las tierras ganaderas de Argentina cuentan con una extensa plataforma de fotosíntesis con capacidad para capturar y almacenar carbono. Así lo demuestran resultados recientes del OCO-2, un proyecto

novedoso instrumentado por la NASA y otras instituciones científicas que evalúa expeditivamente desde el espacio el balance anual de carbono de varios países y regiones, y que asigna a la Argentina un BC positivo como promedio de seis años de evaluación (Byrne et al., 2023).

De estos elementos analizados surgen al menos cuatro interrogantes: (i) ¿Por qué nuestros Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero no incorporan a las tierras de pastoreo como sumideros de carbono?, (ii) ¿Deberíamos conciliar los resultados de nuestros Inventarios Nacionales de Gases de efecto Invernadero con las estimaciones OCO-2 de la NASA?, (iii) Los datos de OCO-2 indicarían que Argentina capturó más carbono del que emitió entre 2015 y 2020, (iv) ¿Significa que estaríamos sobrecumpliendo los compromisos firmados en la Cumbre del Clima de París en 2015 y que no necesitaríamos acciones adicionales de mitigación?, (v) ¿Cómo puede jugar el OCO-2 de la NASA en nuestro comercio internacional? ¿Sus resultados podrán dar cobertura de carbono positivo a todos nuestros productos en los mercados globales?

Estrategias

La denominada “neutralidad climática” estuvo dentro de los objetivos del Acuerdo de París (COP21) del 2015 (United Nations Climate Change, 2022a). Esos objetivos consistieron en limitar el calentamiento del planeta bien por debajo de los 2°C respecto a los niveles previos a la Revolución Industrial del siglo 19. Implicó la firma de compromisos por parte de los países para no causar una elevación adicional de la temperatura global. Un paso clave es lograr que las emisiones anuales de los países sean neutralizadas por las capturas anuales de carbono. Esta estrategia involucra acciones –tanto del sector público como privado– destinadas a reducir emisiones y a extraer carbono de la atmósfera el cual, mediante

técnicas de “cultivo de carbono” (*carbon farming*) pasaría a ser un *commodity* comerciable (Australian Beef, 2022). Una primera referencia en esa dirección fue el Protocolo de Kyoto de 1997 (United Nations Climate Change, 2022b), un tratado internacional destinado a crear un mercado de compra-venta de créditos de carbono con un propósito de mitigación del cambio climático a través de opciones carbono-neto-cero. El mayor protagonismo lo tienen hoy los países y las grandes corporaciones comerciales que pueden influir sobre los precios del carbono.

Si bien el mercado global de carbono se incrementó en 164 % en 2021, y alcanzó una cifra de 851 billones de dólares, recientemente aparecen voces que cuestionan este mecanismo porque no ha logrado reducir las emisiones globales, que era su objetivo original. Le atribuyen asimismo favorecer el “lavado verde” (*green washing*), es decir mediante la compra de bonos de carbono, muchas corporaciones fuertemente emisoras estarían adquiriendo el “derecho espurio” de seguir emitiendo.

¿Cómo juegan las emisiones de carbono en el sector rural argentino? En los últimos 60 años, el producto bruto agropecuario (PBA) de Argentina, expresado en dólares estadounidenses, ha tenido un crecimiento significativo ¿Han seguido las emisiones una trayectoria paralela a la del PBA? Un análisis elemental sugeriría que a mayor PBA mayor volumen de emisiones. No es sencillo este análisis, ya que es necesario diferenciar las emisiones absolutas de las emisiones relativas. Las emisiones relativas adquieren significancia cuando se desea evaluar la eficacia de una estrategia productiva. En la Figura 4 se presentan los resultados de una evaluación relativa que vincula las emisiones de carbono (en millones de toneladas) con el PBA expresado por cada billón de dólares producido. Sorprende encontrar que esa tendencia ha sido inversa desde la década de 1960, y que las emisiones de carbono por unidad de PBA ha declinado de manera persistente, en particular a partir de la década de 1990 (Viglizzo, 2021).

Seguramente la adopción de tecnologías que han favorecido la productividad en los cultivos y en ganadería pueden explicar parte de ese fenómeno. Por un lado, la adopción masiva de la siembra directa redujo drásticamente el consumo de combustibles fósiles y, simultáneamente, las emisiones de carbono asociadas. Por otro lado, el PBA creció por otras razones como la incorporación de cultivos de sustitución, como la soja, que reemplazó a otros cultivos de menor rentabilidad económica.

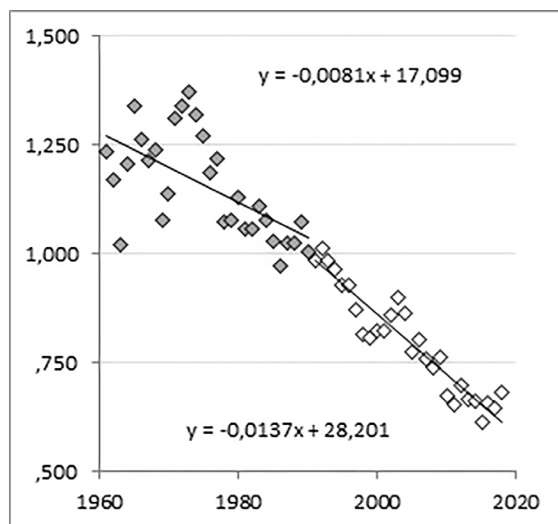


Figura 4. Relación entre las emisiones de carbono y el producto bruto del sector agropecuario argentino entre 1960 y 2020 (Fuente: Figura elaborada a partir de datos estadísticos de FAOSTAT, 2021).

También ocurrió en simultáneo un fuerte aumento de las exportaciones agropecuarias con un efecto directo y lineal sobre el PBA. La mayor demanda de productos agropecuarios desde países en desarrollo impulsó los precios internacionales y, en consecuencia, contribuyó a elevar el PBA. Esta combinación virtuosa de menor uso de combustibles fósiles en agricultura, productividad

creciente y precios internacionales ascendentes diluyó el peso relativo de las emisiones por unidad de PBA dentro del período 1960-2020.

Uno de los dilemas a resolver en el país refiere a dos indicadores asociados a la economía del carbono: la Huella de Carbono (HC) y el Balance de Carbono (BC). En ganadería, la HC aplica en sistemas confinados de producción de carne. Como la producción no está directamente vinculada al uso de la tierra sino al uso de insumos, la HC es un indicador útil para evaluar esos formatos productivos, en los cuales las emisiones se expresan en kg de C (o de eqCO₂) por tonelada de carne producida. El BC, por otro lado, parece adecuarse mejor a los sistemas productivos típicos de la ganadería pastoril. Respecto a este indicador, se evalúan por un lado emisiones y por el otro las ganancias de carbono por hectárea ganadera, generando un resultado positivo, negativo o neutro.

¿Son ambos indicadores igualmente útiles para evaluar la producción agropecuaria argentina? Sin duda, expresan cosas distintas. La HC presenta un condicionamiento metodológico: la carne bovina tendrá siempre una carga de carbono que será mucho más alta (quizás, 40 a 60 veces más) que la de los cultivos agrícolas ¿A qué se debe eso? A que las emisiones se dividen por la cantidad de kg producidos por hectárea. Por una simple razón aritmética, a mayor rendimiento menor HC. La producción pastoril de carne genera un divisor mucho más pequeño (por ejemplo, 350 kg/ha) que un sistema que produce soja, cuyos rendimientos pueden oscilar entre 3000 a 4000 kg/ha. De esta manera, la HC de la soja será muchas veces más pequeña que la HC de la carne bovina. El maíz, por ser un cultivo que tiene rendimientos muy altos por hectárea, generalmente es el que presenta las menores HC. Pero esa diferencia se reduce muy significativamente cuando las emisiones de cada producto se expresan en kg/ha, como ocurre en las estimaciones de BC. Como el BC requiere estimar también la ganancia de carbono del sistema, las diferencias pueden reducirse aún más.

La utilidad del indicador varía de acuerdo al sistema de producción evaluado. La HC parece ser adecuada para evaluar los sistemas ganaderos intensivos con alta tasa de emisión por uso de insumos manufacturados, que incluyen además otras fuentes de emisión vinculadas al transporte y distribución de cada producto. El BC, en cambio, se adecua mejor para evaluar los sistemas extensivos de producción que miden las emisiones y las capturas de carbono en el predio por unidad de tierra. De esta manera, el BC estimado a partir de una base científicamente robusta, se presenta como un instrumento alternativo a la HC para negociar una política o estrategia útil al comercio internacional.

Como nación, contribuir a mitigar los efectos globales del calentamiento y el cambio climático global es un desafío ético insoslayable que va más allá de cualquier otra especulación circunstancial. Pero un país con una economía de base agropecuaria como Argentina, que cuenta con una extensa plataforma de fotosíntesis, debería orientar una política que adopte al carbono como un *commodity* adicional que se suma a los restantes productos primarios. Esto implica la necesidad de promover el “cultivo de carbono” priorizando aquellos usos de la tierra, planteos productivos, actividades y aplicaciones de tecnologías que favorezcan y premien la captura y almacenamiento de este recurso. Por unidad de producto bruto agropecuario, la Argentina presenta tendencias declinantes de emisión que tienden a consolidarse en el mediano y largo plazo. En línea con esto, sería necesario activar mecanismos de mercado que moneticen al carbono como un *commodity* sujeto a negociación.

Referencias

[Australian Beef \(2022\). Australian Beef Sustainability Framework: Annual Update 2022.](https://www.sustainableaustralianbeef.com.au/resources/annual-update2/#:~:text=2022%20) 64 pp. <https://www.sustainableaustralianbeef.com.au/resources/annual-update2/#:~:text=2022%20>

Annual%20Update,and%20People%20and%20the%20Community.

Byrne, B., Baker, D.F., Basu, S., Bertolacci, M. et al. (2023). National CO₂ budgets (2015–2020) inferred from atmospheric CO₂ observations in support of the global stocktake. *Earth Syst. Sci. Data*, 15, 963–1004. <https://doi.org/10.5194/essd-15-963-2023>

European Commission (2019). Farm to Fork Strategy. https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en

FAOSTAT (2021). [Alimentación y agricultura](http://www.fao.org/faostat/es/#data). <http://www.fao.org/faostat/es/#data>

Gerber PJ, Steinfeld H, Henderson B, Mottet A, Opio C, Djikman J, et al. Tackling climate change through livestock – A global assessment of emissions and mitigation opportunities. 2013; Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome.

Global Forest Watch (2021). <https://www.globalforestwatch.org/dashboards/global/>

IAASTD (2009). Agriculture at a Crossroads: Global Report. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (IAASTD), Island Press, Cambridge University Press.

IPCC (1996). IPCC. Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Inventories. J.T. Houghton et al. (Editors). IPCC/OECD/IEA, Paris, France, 1997

IPCC (2006). IPCC. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (H. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe, Eds). Institute for Global Environmental Strategies, 2006; Japan.

IPCC (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Calvo Buendia, E.,

- Tanabe, K., Kranjc, A., Baasansuren, J., Fukuda, M., Ngarize, S., Osako, A., Pyrozhenko, Y., Shermanau, P., Federici, S., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland.
- Odum, E.P., 1969. The strategy of ecosystems development. *Science*, 164: 262--270.
- Our World in Data (2022).
<https://www.tilt.com/tilts/help-save-ourworldindataorg>
- Ricard, M.F., Mayer, M.A., Viglizzo, E.F. (2021). The impact of beef and soybean protein demand on carbon emissions in Argentina during the first two decades of the twenty-first century. *Environmental Science and Pollution Research* <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16744-8>
- SAyDS (2019). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero. Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de Argentina.
<https://www.argentina.gob.ar/ciencia/argentina-innovadora-2030/plan-argentina-innovadora-2020/ambiente-y-desarrollo-sustentable>
- Steinfeld H, Gerber P, Wassenaar T, Castel V, Rosales M, de Haan, C. The Livestock's Long Shadow. Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2006 (FAO) Rome. 2.
- United Nations Climate Change (2022a). El Acuerdo de París. <https://unfccc.int/es/process-and-meetings/the-paris-agreement/el-acuerdo-de-paris>
- United Nations Climate Change (2022b) ¿Qué es el Protocolo de Kyoto? https://unfccc.int/es/kyoto_protocol
- Viglizzo, E.F. (2021). Diagnóstico y Mega-tendencias Ambientales del Sector Agropecuario en la Región MERCOSUR. GPPS (Grupo de Países Productores del Sur), Buenos Aires. <https://grupogpps.org/web/publicaciones/>

- Viglizzo, E.F., Frank, F.C., Carreño, L.V., Jobbágy, E.G., Pereyra, H., Clatt, J., Pincén, D., Ricard, F.M. (2011). Ecological and environmental footprint of 50 years of agricultural expansion in Argentina. *Global Change Biology* 17: 959–973.
- Viglizzo, E.F., Ricard, M.F., Taboada, M.A., Vázquez Amábile, G. (2019). Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment* 661: 531–542.
- World Economic Forum (2022). The Global Risks Report 2022, 17th Edition, Davos, Switzerland 2022. <https://www.weforum.org/reports/global-risks-report-2022/>

Capítulo 6

Gestión de excedentes y déficits de nutrientes en sistemas de producción

1. Gestión de nutrientes contaminantes en sistemas ganaderos intensivos

Nora Kugler, Marianela Diez, Miriam Barraco

El problema

La producción animal de Argentina ha transitado en las últimas décadas un camino de transformaciones y procesos de intensificación de los sistemas de producción. Los productores se han especializado cada vez más, evolucionando de sistemas extensivos base pastoril a sistemas más intensivos que incorporan el corral para la etapa de crecimiento (recría) y/o engorde (terminación). Estos sistemas han crecido en varias regiones del país, particularmente en aquellas de mayor aptitud agrícola, y/o en áreas alejadas de los puertos, donde por los elevados costos de fletes resulta más rentable dar valor agregado a los granos utilizándolos en la alimentación animal.

Los cambios registrados en los sistemas de producción modifican, entre otros factores, el ciclado de los nutrientes del suelo. En los sistemas ganaderos pastoriles, los animales depositan el estiércol y la orina sobre pasturas y cultivos, y una alta proporción de los nutrientes consumidos se incorporan al suelo a través de

diferentes procesos biológicos. En contraposición, en los sistemas intensivos a corral, el estiércol se concentra, y según las precipitaciones (cantidad, frecuencia e intensidad), las características del suelo (textura y estructura) y la pendiente, los nutrientes pueden lixivarse y llegar al agua freática, y/o acumularse en el sitio. A este escenario productivo, se le suma la dimensión ambiental, ya que estos sistemas de producción, en ciertas situaciones, podrían contribuir a la degradación ambiental por contaminación de suelos, agua y aire con exceso de nutrientes, agentes tóxicos y patógenos, sumado al impacto negativo sobre la riqueza paisajística. Cuando el exceso de nutrientes, patógenos, materia orgánica y sólidos del estiércol se descargan en la superficie pueden causar un crecimiento excesivo de algas y agotar el oxígeno que necesitan los peces y otra vida acuática; también pueden hacer que el agua no sea segura para actividades recreativas y como fuente de agua potable.

Se hará referencia en este Capítulo a la Gestión Ambiental en sistemas intensivos de producción de carne bovina o “feedlots”, con especial énfasis en el cuidado del agua, y en la gestión del estiércol y sus principales beneficios. La manera de cuidar los recursos naturales, y el tratamiento y aplicación del estiércol aplican a establecimientos con tambos estabulados o semi estabulados.

Los Sistemas Intensivos y Concentrados de Producción Animal incluyen las actividades destinadas a la producción intensiva de animales, sus productos y subproductos, a partir de cierta escala de producción, que es definida por cada autoridad de aplicación. Quedan excluidos los encierres temporarios de menos de treinta (30) días. En estas explotaciones, los desechos, residuos y efluentes generados están concentrados (Ley 9306, 2020).

Implicancias

La Gestión Ambiental comprende todas las prácticas que tengan como objetivo evitar y mitigar la contaminación de los re-

cursos naturales, con el fin de cuidar a las personas y a los animales. Estas prácticas incluyen el monitoreo de la calidad del agua subterránea en el área en uso, su dinámica sub-superficial, el manejo integrado del suelo, el agua y los desechos ganaderos, considerando estos últimos como una fuente de nutrientes reciclados dentro del propio sistema. A todo esto, se le sumará el manejo y disposición final de cadáveres, el control de olores y polvillo, el manejo de residuos peligrosos y el control de roedores y moscas.

Durante generaciones, los agricultores han utilizado el estiércol animal como fertilizante orgánico (Stevenson et al., 1926) y no hay dudas de los beneficios sobre la productividad de los cultivos. Su extracción de los corrales con frecuencia reduce la lixiviación de nutrientes y la consecuente contaminación de los recursos naturales. Por ejemplo, se han detectado exceso de nitratos, fósforo (P) y otros minerales en suelo y en agua subterránea en sistemas intensivos de Argentina (Herrero & Gil, 2008). De manera coincidente, Herrero & Tieri (2014) han reportado valores elevados de nitratos en el agua freática en zonas aledañas a corrales de ordeño, a lagunas de efluentes, pistas de alimentación y a aguadas en tambos con incipiente intensificación.

La rigurosidad en las exigencias en la temática ambiental depende de cada país, provincia y municipio. En la Unión Europea, las normativas incluyen un nuevo modelo de gestión basado en la valorización de los fertilizantes orgánicos, y especifican los aspectos técnicos que debe cumplir la maquinaria para realizar una aplicación ajustada a las necesidades del cultivo. Por ejemplo, en la región de Cataluña, el Decreto 153/2019 regula las deyecciones ganaderas y establece zonas vulnerables en relación a la contaminación por nitratos provenientes de fuentes agrarias. En EEUU existen programas regulados por el estado para promover un buen manejo del estiércol en sistemas intensivos de engorde a corral enfocados en lograr beneficios ambientales (EPA N°830B17002).

Por lo tanto, es clave conocer las particularidades de cada región para no caer en exigencias innecesarias de alto costo. En el contexto argentino y con la experiencia internacional, la imposición de requisitos y restricciones debería orientarse hacia la alerta temprana y la prevención de los efectos, para evitar la costosa tarea de la remediación ambiental. Se necesitan programas de incentivo y reglamentaciones que promuevan el uso adecuado del estiércol para prevenir problemas ambientales. En ese sentido, el productor ganadero enfrenta el desafío de cubrir los requerimientos exigidos por su comunidad, el consumidor y los mercados globalizados.

En bovinos la producción diaria de heces frescas y de orina es de 3,4 a 3,8 % y de 1,2 a 1,8 % del peso vivo, mientras que el contenido de materia seca es de 20 a 30% y 3 a 4 %, respectivamente (Pordomingo, 2003). La cantidad excretada depende de la cantidad consumida y de la digestibilidad de la dieta (NRC, 2016).

La composición química del estiércol es altamente variable, debido a la dieta, el tiempo y forma de colecta y almacenaje, la época del año, el tipo de suelo, etc. (NRC, 2016). El estiércol es una fuente valiosa de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Además, proporciona una amplia variedad de macro y micronutrientes, entre los que se destacan calcio (Ca), magnesio (Mg), zinc y azufre (S); (Schott & Schmidt, 2017). Al mismo tiempo aporta carbono orgánico (CO), lo cual hace que sea considerado una enmienda que contribuye a mejorar la salud del suelo en general, tanto en sus propiedades químicas, físicas y biológicas. La orina, también contiene N, P, Ca, S, K, hierro, manganeso, etc.

La relación N: P del estiércol varía de 0,2 a 3,0 y suele ser menor que la relación requerida por el cultivo que se fertiliza. Dada la gran variabilidad en su composición (Tabla 1), principalmente la fracción de N orgánico y el potencial mineralizable, resulta clave analizar la concentración química del estiércol previo a su aplicación, para ajustar la dosis según las necesidades y requerimientos de los cultivos. Independientemente del manejo de estiércol que

se realice en el establecimiento (fresco, apilado, compostado) una vez extraído del corral, existen materiales que pueden aportar 2,6 g; 7,6 g y 23 g de N por kg de estiércol y 1,6 g; 4,1 g y 9,1 g de P por kg de estiércol (Tabla 1).

Tabla 1. Valor promedio, mínimo y máximo de propiedades químicas de estiércol de distinto procesamiento (apilado, crudo sin estabilización, compostado) de feedlot ubicados en Noroeste de Buenos Aires y Noreste de La Pampa. (Fuente: Grupo GAF, inédito).

n=35	pH	CE	MS %	MO	Nt	Pt
		dS m ⁻¹		%		
Promedio	8,54	10,82	63,57	15,39	0,76	0,41
Min	5,6	0,7	13	4,21	0,26	0,16
Max	9,9	27,7	94	65	2,3	0,91
CE=conductividad eléctrica; MS=materia seca; MO=materia orgánica; Nt=nitrógeno total; Pt=fósforo total; n= número de muestras analizadas.						

El método de aplicación del estiércol dependerá en parte del contenido de materia seca. Casi todos los abonos secos o semisólidos se aplican en forma superficial, es decir sobre el suelo, aunque está comprobado que la incorporación después de la aplicación superficial conserva más nutrientes y aumenta el valor del fertilizante. Según el USDA en los lotes de maíz, menos del 30 % por ciento del estiércol aplicado en la superficie se incorpora al suelo (Lim et al., 2023).

Por lo tanto, los beneficios que se obtienen al aplicar enmiendas orgánicas al suelo depende en gran medida de las propiedades químicas del estiércol (Schott & Schmidt, 2017; Diez & Barraco, 2021). Aplicaciones sucesivas también mejoran las propiedades físicas, como disminución de la densidad aparente, mejora de la porosidad y estabilidad de agregados y aumentos en las tasas de infiltración. Estas condiciones permiten que los cultivos puedan ac-

ceder al agua, aire y nutrientes del suelo, y favorecen la resistencia del suelo a fenómenos de degradación por erosión y escorrentía.

Estrategias

Aunque el estiércol de mejoras en las propiedades biológicas es escaso, existen antecedentes que demuestran un mayor número de bacterias, hongos, y lombrices de tierra que en los suelos con fertilizantes químicos, y una mayor actividad microbiana, que favorece el ciclado de nutrientes en el suelo (Schott & Schmidt, 2017).

Si bien el estiércol tiene un valor potencial sustancial como fertilizante, existen algunas cuestiones que hacen que se opte por fertilizantes comerciales. Entre ellas, el contenido de agua (hasta el 90 % del peso total) que baja la concentración de los nutrientes y aumenta el costo de transporte; su aplicación sujeta al clima y época del año; su relación N: P que puede no ajustarse a los requerimientos de los cultivos; el exceso de P que puede ser riesgoso para el medio ambiente debido a altos niveles que se pueden acumular en el suelo ante aplicaciones reiteradas, etc. (Aillery et al., 2005). El desafío está en lograr que los beneficios del uso del estiércol superen los costos, considerando también, cuestiones ambientales que hacen a la sostenibilidad de los sistemas. Su forma de almacenaje, la reducción de su contenido de agua, el uso de herramientas apropiadas para la extracción y aplicación, hacen a su calidad y al costo final.

En la Argentina, durante los últimos años, se ha incrementado la utilización del estiércol y de los purines, ya sean crudos o tratados, como fertilizantes en cultivos de granos y forrajes. Existe un amplio interés en su valorización. En contraste con los fertilizantes sintéticos o minerales, el estiércol presenta algunas particularidades:

- Concentración de nutrientes: como es variable, su utilización como abono requiere de un análisis químico de sus componentes para poder ajustar la dosis.

- Disponibilidad de nutrientes: asociada a la composición mineral que presenta cada nutriente (según formas orgánicas e inorgánicas) y a las condiciones de suelo y clima, que facilitarán su mineralización. La mayoría de los nutrientes presentes en el estiércol deberán mineralizarse para poder ser aprovechados.
- La oportunidad de aplicación: relacionado a que muchas veces se realizan aplicaciones en épocas que no son ideales porque las instalaciones de almacenamiento resultan insuficientes o en función de la disponibilidad de la maquinaria.
- En regiones que concentran producción intensiva de animales, la disponibilidad de residuos excede la capacidad de los cultivos para ser aplicados. Esto lleva a la necesidad de transferir o exportar estiércol fuera del predio para evitar riesgos de contaminación de suelos y agua, si se aplican dosis excesivas, o en momentos inadecuados.
- Un estiércol crudo sin tratamiento previo puede resultar en un problema sanitario por la dispersión de patógenos y de residuos de drogas de uso veterinario.

El estiércol puede complementar, pero no sustituir a los fertilizantes comerciales. Por ejemplo, una tonelada de urea aporta 460 kg N ha^{-1} , mientras que una tonelada de estiércol podría aportar en promedio unos 50 kg N ha^{-1} . Por otro lado, no todo el N está inmediatamente disponible para las plantas ya que éstas solo pueden aprovechar fracciones inorgánicas, mientras que la fracción orgánica debe mineralizarse para ser aprovechado (Griffin & Honeycutt, 2000). Se estima que del N presente en el estiércol sólo estará disponible entre un 25-30% el primer año de aplicación (Eghball, 2000), entre 40-45% durante el segundo año de aplicación, y el resto al tercer año.

La cantidad de N mineralizable de un material orgánico depende no sólo del contenido absoluto de N y sus fracciones, sino también de su cantidad relativa a los contenidos de C y/o compuestos de C. En general relaciones C/N menores a 25 generan mineralización neta, mientras que valores superiores producen períodos variables de inmovilización de N (Beauchamp & Paul, 1989; Calderón et al., 2004; Trinsoutrot et al., 2000). Como la mineralización es un proceso continuo que se produce durante todo el año y los cultivos agrícolas sólo utilizan el N mineral en 5-6 meses, aquel N orgánico que se mineralice fuera de los períodos en los que puede ser aprovechado por las plantas sufrirá pérdidas. Por otra parte, la demanda de N por los cultivos varía durante el ciclo, siendo baja en los primeros estadios y aumentando exponencialmente a partir de 40-50 días desde la emergencia. Por lo tanto, la eficiencia de utilización del N del estiércol es baja, afectada entre otros factores, por la forma, las condiciones y época de aplicación y el tipo de cultivo (Herrero et al., 2017)

A su vez, la incorporación del estiércol en el suelo aumenta la disponibilidad de N durante el primer año, con respecto a aplicaciones superficiales (al voleo). Por lo tanto, es recomendable minimizar las pérdidas de N (lixiviación, volatilización y desnitrificación) para lograr una mayor eficiencia y aprovechamiento del mismo por parte de los cultivos. El P, en cambio, está disponible casi en su totalidad, en un 90% el primer año de aplicación debido a que está presente en formas inorgánicas que son rápidamente disponibles para los cultivos. Si bien es un nutriente poco móvil, poco susceptible a ser lixiviado, puede incrementar su tasa de migración cuando el suelo excede las posibilidades de absorción y retención. Las fertilizaciones recurrentes con estiércol incrementan significativamente los niveles de este nutriente por lo que se recomienda testear su disponibilidad previa a la aplicación de estiércol.

Finalmente, es posible que la aplicación de estiércol para satisfacer las necesidades de P no suministre suficiente N. Este desajuste entre la oferta y la demanda de nutrientes aumenta el costo de la fertilización de los cultivos y puede reducir el valor percibido del estiércol, ya que cuando se aplica tanto estiércol como fertilizante inorgánico en un lote se incrementan los costos de aplicación. Alternativamente, si se aplica estiércol para satisfacer las necesidades de N de un cultivo, se producirá un exceso de P, que se acumulará en el suelo con consecuencias ambientales negativas (Paudel et al., 2009). En base a esto Eghball & Power (1999) sugirieron usar el contenido de P como base para estimar las dosis a aplicar de estiércol cuando existe preocupación por acumulación de P en los suelos.

Actualmente existen oportunidades y nuevas formas de procesar y comercializar el estiércol como fertilizante para competir con los fertilizantes químicos. Se incluyen:

- Compostaje. En el compostaje las bacterias estabilizan la materia orgánica y los nutrientes del estiércol. Se reduce el volumen total que se composte, la cantidad de patógenos y las malezas presentes.
- Separación líquido-sólido. Existen tecnologías que eliminan los sólidos gruesos de los sistemas de estiércol lechero que consumen mucha agua, separan los sólidos finos para la recuperación de nutrientes y reducen el contenido de humedad en los sólidos para hacerlos más adecuados para otros procesos. Los sólidos gruesos se pueden utilizar para mejorar el suelo mientras que los sólidos finos pueden convertirse en valiosos fertilizantes.
- Pelletización. El estiércol crudo o compostado se puede procesar en gránulos como un producto más consistente y más denso. Este proceso conserva los nutrientes, permite un mejor control de la aplicación y reduce los costos de almacenamiento y manipulación.

La adopción de cada práctica merece un estudio de factibilidad económica y de relación costo-beneficio. La mayoría de las empresas con animales utilizan el estiércol con fines agronómicos. Algunas aportan valor agregado generando gas natural renovable a partir del estiércol (tratamiento de digestión anaeróbica) y compost (tratamiento aeróbico). Del proceso de digestión anaeróbica se obtiene un subproducto llamado digestato, de consistencia semi-líquida, utilizado como fertilizante orgánico. Otros beneficios son la reducción de olores, mejora en la calidad del aire y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Debido a que el costo de la inversión es elevado, el uso de esta tecnología es más limitado (Lim et al., 2023).

Existe un gran recorrido por delante, con desafíos más que interesantes. Existen en Argentina productores de vanguardia gracias a quienes se producen los grandes cambios. Queda una gran mayoría que desearía avanzar en el tema utilizando en sus predios el estiércol/purines generados. Cuestiones económicas y de imposibilidad de planificar a largo plazo, por las sucesivas crisis que atraviesa el país, hacen que los procesos se enlentezcan. En el sector agropecuario cada día es más profundo el respeto por el medio ambiente.

Referencias

- Aillery, M., Gollehon, N., Johansson, R., Kaplan, J & Ribaud, M. 2005. Managing Manure to Improve Air and Water Quality, ERR-9, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, September 2005.
- Beauchamp, E.G. & Paul J.W. 1989. A simple model to predict manure N availability to crops in the field. In K.A. Hansen and K. Henriksen (Eds) Nitrogen in organic wastes applied to soils. Boston: hancourt Brace Jovanovich Publ. Pp. 140-149.
- Calderón, F.G., McCarty G.W., Van kessel J.A.S. & Reeves J.B. 2004. Carbon and nitrogen dynamics during incubation of manured soil. ASoil Sci. Soc Am. J.; 68 (5): 1592-1599.

- Decreto 153 (2019). [https://residus.gencat.cat/web/.content/home/consultes i tramits/normativa/normativa catalana en materia de residus/decret 153 2019 es.pdf](https://residus.gencat.cat/web/.content/home/consultes_i_tramits/normativa/normativa_catalana_en_materia_de_residus/decret_153_2019_es.pdf)
- Diez, M. & Barraco, M. 2021. Aplicación bienal de estiércol de feedlot compostado: efecto sobre cultivos y propiedades de suelo. Memoria Técnica 2020-2021. Estación Experimental Agropecuaria General Villegas. Pp: 45-47.
- Eghball B. & Power, J.F. 1999. Phosphorus-and nitrogen based manure and compost applications: com production and soil phosphorus. Soil Sci. Soc.Am.J.; 91 (5): 819-825.
- Eghball, B. 2000. Nitrogen mineralization from field-applied beef cattle feedlot manure or compost. Soil Sci.Soc.Am. J.; 64 86: 2024-2030.
- Griffin, T.S. & Honeycutt, C.W. 2000. Using growing degree days to predict nitrogen availability from livestock manures. Soil Sci.Soc.Am.J.; 64 (5): 1876-1882.
- Herrero, M.A. & Gil, S.B. 2008. Consideraciones ambientales de la intensificación en producción animal. Ecología Austral, 18(3), 273–289. [https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/Ecologia Austral/article/view/1375](https://ojs.ecologiaaustral.com.ar/index.php/EcologiaAustral/article/view/1375)
- Herrero, M.A. & Tieri, M.P. 2014. Manejo del agua en sistemas ganaderos. En: La Producción animal y el ambiente. Conceptos, interacciones y gestión. ISBN: 978-987-1500-18-5. Pág 221: 35-65. Capítulo 2.
- Herrero, M.A., Charlon, V., Carbó, L.I., Cuatrín, A., Sardi, G.M.I., Romero, L. 2017. Eficiencia de uso del nitrógeno por forrajeras abonadas con estiércol de bovinos lecheros en la Región Pampeana, Argentina. En: RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias, vol. 43, núm 2, pp 135-143.
- Ley 9306, 2020. Ley nacional de presupuestos mínimos para la gestión sostenible de los sistemas intensivos y concentrados de producción animal. 2020. 15pp

<https://www4.hcdn.gob.ar/dependencias/dsecretaria/Periodo2020/PDF2020/TP2020/4978-D-2020.pdf>

- Lim, T., Massey, R., MacCann, I., Canter, T., Omura, S., Willett, C., Roach, A., Key, N & Dodson, I. 2023. Increasing the value of animal manure for farmers, AP-109, U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service.
- NRC. 2016. National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2016. Nutrient Requirements of Beef Cattle, Eighth Revised Edition. Washington, DC: The National Academies Press. doi: 10.17226/19014.
- Paudel, K.P., Bhattarai, K., Gauthier, W.M & Hall, L.M. 2009. Geographic Information Systems (GIS) Based Model of Dairy Manure Transportation and Application with Environmental Quality Consideration. *En Waste Management* 29(5):1634–43.
- Pordomingo, A. 2003. Gestión Ambiental en feedlots. Guía de buenas prácticas INTA Anguil La Pampa Argentina 2003. Pag.71.
- Schott, L.R & Schmidt, A.M. 2017. Synthesis of Short-and Long-Term Studies Reporting Soil Quality Metrics under Agricultural and Municipal Biosolid Applications, 2016. Manure and Soil Health Working Group Report. Soil Health Nexus
- Stevenson, W.H., Brown, P.E., Forman, L.W., Baker, W.G., Boatman, J.L & Boatman, B. 1926. The Economic Value of Farm Manure as a Fertilizer on Iowa Soils, Bulletin number 236. Agricultural Experiment Station, Iowa State College of Agricultural and Trinsoutrot., R., Bentz B., Linéres M., Céneby D & Nicolardot B. 2000. Biochemical quality of crop residues and carbon and nitrogen mineralization kinetics under nonlimiting conditions. *Soil Sci Soc Am. J.*; 64 (3) 918-926.

2. Gestión de nutrientes deficitarios en suelos agrícolas de Argentina

Roberto R. Casas

La creciente demanda global de alimentos, fibras, y biocombustibles, entre otros productos de origen agropecuario, junto con la competitividad del sector agropecuario y un nivel intermedio de brecha de rendimiento, ponen a la Argentina en una posición comparativamente ventajosa para aumentar la producción de sus principales cultivos de grano (maíz, soja, girasol, y trigo) en la superficie actualmente sembrada (Bolsa de Cereales, 2021). Los rendimientos de los principales cultivos extensivos y por ende, la demanda de nutrientes, se ha incrementado en los últimos 20 años. En la actualidad existe una brecha entre los rendimientos actuales y los alcanzables en secano. La brecha de rendimiento es definida como la diferencia entre el rendimiento potencial en secano, determinado por el clima, tipo de suelo y manejo del cultivo y el rendimiento promedio actual. Las brechas productivas en secano son las siguientes: Maíz 41%, Trigo 41% y Soja 32% (Aramburu Merlos et al., 2015. Disponible en: www.yieldgap.org)

La falta de rotaciones con pasturas, la disminución de la frecuencia de gramíneas en la rotación, sumado al bajo uso de fertilizantes, han producido una notable disminución de los niveles de materia orgánica de los suelos de la Región Pampeana y de la oferta natural de nutrientes. De esta forma, dependiendo del tipo de suelo y textura, hoy en día se registran descensos del 30 al 50% respecto del contenido original de materia orgánica de los suelos (Sainz Rozas, 2019). Los balances de nutrientes en los cultivos han sido históricamente negativos en la Argentina ya que la extracción

mediante las cosechas de granos ha superado a la reposición. Esto ha generado “brechas de nutrientes”, definida como la diferencia entre los nutrientes aplicados y aquéllos necesarios para lograr los rendimientos alcanzables. Las aplicaciones actuales de nitrógeno, fósforo y azufre en promedio en la Argentina, no son suficientes para cerrar la brecha de rendimiento en los principales cultivos y, en la mayoría de los casos, los balances negativos indican exportación neta de nutrientes de los suelos. El promedio de reposición de nutrientes mediante fertilización en el período 2001-2020 fue de un 47% para nitrógeno, 57% para Fósforo, 0.15% para potasio y 34% para Azufre (García y Reussi Calvo, 2022).

Cualquier programa que tenga como objetivo aumentar la productividad actual, haciendo un uso sustentable del recurso suelo, va a requerir de un reconocimiento explícito de la necesidad de aumentar el uso de nutrientes en Argentina. Satisfacer la demanda futura de alimentos sin recurrir a la expansión del área cultivada va a requerir de una intensificación sustentable de los sistemas de producción de cultivos de tal manera que cada hectárea de tierra cultivada produzca cerca de su potencial, minimizando el impacto ambiental y preservando el recurso suelo (Grassini, 2022). Alcanzar un 70 a 80% del rendimiento potencial es un objetivo razonable para productores con acceso a tecnología, ya que por encima de ese umbral, los incrementos de rendimiento suelen ser inviables desde una perspectiva económica, logística y ambiental (Monzón, 2021). Las dosis actuales de nutrientes no son suficientes para cerrar la brecha de rendimientos y los balances de nutrientes sugieren exportación neta en muchos casos. Cerrar la brecha de rendimiento, sin comprometer la calidad del suelo, va a requerir de un aumento substancial en el uso de fertilizantes.

En síntesis, en la Argentina, la disponibilidad actual de nutrientes limita el crecimiento normal de los cultivos reduciendo su producción y calidad. Para alcanzar una fertilidad de suelos sistémica e integral y asegurar la sostenibilidad alimentaria resulta

fundamental el manejo de nutrientes en los sistemas integrando múltiples fuentes de nutrientes: reciclados, rotaciones, cultivos de cobertura, biológicos y minerales. Cualquier programa que tenga como objetivo aumentar la producción y los rendimientos de manera sostenible y bajo buenas prácticas agrícolas, va a requerir de un reconocimiento explícito de la necesidad de un mayor y mejor uso de nutrientes en los sistemas de producción.

Referencias

- Aramburu Merlos F., Monzon J.P., Mercau J.L., Taboada M.A., Andrade F.H., Hall A.J., Jobbagy E., Cassman K.G. and P.Grassini. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. *Field Crops Research* 184 (2015) 145–154.
- Bolsa de Cereales. 2021. Declaración de Buenos Aires sobre la Brecha de Nutrientes en Argentina.
<https://www.bolsadecereales.com/post-33>
- García F.O. y N.I. Reussi Calvo. Brechas de rendimiento y salud del suelo: nutrientes y más. *Actas XXVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo*. Buenos Aires.
- Grassini P. 2022. La importancia de la intensificación sustentable de los cultivos a nivel global. Declaración de Buenos Aires sobre la Brecha de Nutrientes en Argentina. Abril 19. Bolsa de Cereales. Buenos Aires.
- Monzon J.P. 2021. De brechas de rendimiento a brechas de nutrientes: diagnóstico para Argentina.
<https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2021/06/04.-MONZON.-La-nutricio%CC%81n-de-cultivos-para-achicar-brechas-de-rendimiento-1.pdf>

Sainz Rozas H. 2019. Relevamiento y determinación de propiedades químicas en suelos de aptitud agrícola de la región pampeana. Simposio Fertilizar. <https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2020/10/SAINZ-ROZAS-Fertilidad-2019.pdf>

Capítulo 7

Gestión de fitosanitarios en sistemas agrícolas

Jorgelina C. Montoya y Luis Carrancio

El Problema

Los plaguicidas son cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, destruir o controlar cualquier plaga, incluyendo los vectores de enfermedades humanas o de los animales, las especies de plantas o animales indeseables que causan perjuicio o que interfieren de cualquier otra forma en la producción, elaboración, almacenamiento, transporte o comercialización de alimentos, productos agrícolas, madera y productos de madera o alimentos para animales, o que pueden administrarse a los animales para combatir insectos, arácnidos u otras plagas en o sobre sus cuerpos. El término incluye las sustancias destinadas a utilizarse como reguladoras del crecimiento de las plantas, defoliantes, desecantes, agentes para reducir la densidad de fruta o agentes para evitar la caída prematura de la fruta, y las sustancias aplicadas a los cultivos antes o después de la cosecha para proteger el producto contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte (FAO, 2003).

El concepto de producto fitosanitario (PFs) hace referencia a cualquier sustancia o mezcla de sustancias destinadas a prevenir, controlar o destruir cualquier organismo nocivo, incluyendo las

especies no deseadas de plantas o animales, que causan perjuicio o interferencia negativa en la producción, elaboración o almacenamiento de los vegetales y sus productos. El término incluye coadyuvante, fitorreguladores, desecantes y las sustancias aplicadas a los vegetales, antes o después de la cosecha, para protegerlos contra el deterioro durante el almacenamiento y transporte (SENASA, 2007). A lo largo de la historia estos productos han tomado diferentes nombres según el aspecto específico que se quisiera destacar, así se los ha llamado pesticidas (control de pestes), plaguicidas (control de plagas), biocidas (efectos sobre seres vivos), agroquímicos (su composición), fitosanitarios (su aporte a la sanidad de los vegetales) y últimamente agrotóxicos (neologismo que destaca su aspecto negativo sobre los seres no blanco).

En el presente texto los llamaremos productos fitosanitarios (PFs) (salvo citas textuales), dado que aportan a la sanidad de los cultivos y son, para nosotros, su razón de ser, sin desconocer sus efectos negativos sobre las personas y los componentes del ecosistema u otras externalidades derivadas de su mal uso.

Los PFs pueden ser de síntesis química o de origen biológico. Dado que son sustancias con diferente grado de toxicidad es el SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria), organismo descentralizado en la órbita del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, quien regula y aprueba el registro de los mismos. Es un proceso científico, legal y administrativo que examina las propiedades físicas y químicas del PF, su eficacia, su capacidad potencial de producir efectos tóxicos sobre la salud de los seres humanos y los efectos ambientales negativos, así como regula el etiquetado y el embalaje.

Las pérdidas de cultivos o de rendimiento debido a los efectos perjudiciales de las plagas son una amenaza a la seguridad alimentaria mundial. Las plagas en la agricultura son cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (FAO 2016). Di-

ferentes tipos de organismos perjudiciales pueden afectar los cultivos como así también la calidad nutricional y comercial de los productos y subproductos. Sumado a ello, la presencia de insectos en los granos almacenados, genera múltiples inconvenientes que comprometen la comercialización (Nayak y Dagglish, 2018).

El uso de productos fitosanitarios para el manejo de las plagas ha permitido aumentar los rendimientos por unidad de superficie. El *European Parliamentary Research Service* publicó recientemente el informe “*Farming without plant protection products*” - Producir sin los productos de protección vegetal - donde expresa que los rendimientos se reducirían si no se utilizaran los PFs (Keulemans *et al.* 2019). En relación a ello, se mencionan mermas de trigo del 19 % y de papa de 42 %. En concordancia, los ensayos de más de 100 años de Rothamsted (Reino Unido) han mostrado un impacto significativo en la producción a partir del control de malezas y enfermedades mediante el uso de PFs (Johnston y Poulton, 2018). Para dimensionar el impacto del control de las plagas mediante el uso de fitosanitarios, Washuck *et al.* (2022) registraron aumentos de rendimiento, según el cultivo y el tratamiento químico, que oscilaron entre 16,2 y 86,6 %. Esto representaría el equivalente a un rango de hectáreas que va desde 145.883 ha en el caso de avena a 11.590.225 ha en el caso de maíz para el caso de Estados Unidos, y 3.999.639 ha de canola para el caso de Canadá.

Al mismo tiempo que los PFs han demostrado ser necesarios para aumentar la producción de alimentos y fibras, es importante destacar el impacto que los mismos han tenido tanto en el ambiente como en la salud de las personas. Este doble aspecto, en cierto grado contradictorio, de ser necesarios y de impactar negativamente en el ecosistema, nos interpela y obliga a utilizarlos de forma altamente racional y controlada o a su reemplazo por tecnologías más amigables.

Existe un interés público creciente en torno al impacto negativo del uso de fitosanitarios sobre la salud de los seres humanos y el ambiente en general. Hoy en día, la agricultura es señalada como una significativa fuente de daño ambiental por un excesivo uso de los recursos naturales, o bien como una vía de entrada de la contaminación por plaguicidas (Tilman 1999; Zimdahl 2013). Los plaguicidas pueden migrar desde los sitios tratados hacia el aire, suelo y cuerpos de agua. Su persistencia en los mismos depende del grado de retención y de la facilidad con que se degradan. Estimaciones recientes demuestran que el 64% de las tierras agrícolas del mundo presentan un riesgo de contaminación por más de un ingrediente activo, mientras que el 31 % presentan un alto riesgo (Tang *et al.* 2021). Además, los fitosanitarios han sido ampliamente detectados en aguas superficiales a nivel mundial (Stehle y Schulz 2015) y representan, en conjunto con los nutrientes, una de las principales causas de la degradación de la calidad del agua en ambientes agropecuarios (Mateo-Sagasta *et al.* 2018). En Argentina, la presencia de residuos de fitosanitarios ha sido reportada en varias ocasiones tanto en aguas superficiales como subterráneas (Bonansea *et al.* 2013; De Gerónimo *et al.* 2014; Etchegoyen *et al.* 2017; Pérez *et al.* 2017; Castro Berman *et al.* 2018). También se han detectado residuos de fitosanitarios en peces y anfibios de la región pampeana (Brodeur *et al.* 2017; 2022).

Así como en Argentina, en el resto de Latinoamérica también hay una preocupación y un interés creciente acerca de los residuos de contaminantes en el ambiente y los potenciales riesgos que implican las concentraciones halladas en matrices ambientales. Una reciente revisión bibliográfica acerca de la presencia y los niveles de contaminantes (productos farmacéuticos, hormonas, productos de cuidado personal, cosmético, productos químicos en alimentos, fertilizantes, plaguicidas, microplástico, drogas ilícitas, entre otros) en muestras ambientales y alimentarias destaca

profundos vacíos de conocimiento y señala futuras necesidades de investigación. Del análisis surge una disparidad en la difusión de los estudios dentro de Latinoamérica; Brasil contribuye de manera significativa con el 45 % del total de artículos publicados, México con el 15 % y Argentina con el 13 %. La mayoría de los trabajos se refieren al compartimento agua (superficial y residuales) y pocos estudios sobre alimentos procesados, frutas/verduras y muestras de suelo. Los plaguicidas y fertilizantes representan un grupo de significativo interés debido a la tendencia del uso masivo por la expansión agrícola en la región. Se destaca la limitada capacidad analítica que posee la región y la necesidad de la implementación de programas de monitoreo por parte de las autoridades ambientales locales, regionales o nacionales (Oliveira Souza et al. 2022).

Implicancias

Premisa general de seguridad

Los fitosanitarios son productos regulados dado que son sustancias con diferente grado de toxicidad. Su uso debe garantizar la seguridad pública y la protección del ambiente. En nuestro país el Decreto Ley 3489/1958 regula la venta en todo el territorio de la Nación de productos químicos y biológicos, destinados al tratamiento y destrucción de los enemigos animales y vegetales de las plantas cultivadas o útiles, así como de los coadyuvantes de tales productos y establece sanciones en caso de incumplimientos. El Decreto 5769/59 crea el Registro Nacional de Terapéutica Vegetal; lista los productos de acuerdo a su aptitud (insecticida, herbicida, fungicida, coadyuvante, etc.) que quedan sujetos a registro; fija la obligatoriedad de poseer un ingeniero agrónomo matriculado en el país, como asesor técnico; y establece que los productos deben poseer un marbete o etiqueta. El SENASA es

el organismo responsable del registro de los PFs como requisito indispensable para la aprobación y comercialización.

Cabe resaltar que la legislación referida a la comercialización y registro de fitosanitarios data de los años 1958 y 1959. Más tarde, se promulgó el Decreto Ley 6704/1963 que propicia *evitar los daños que provocan las plagas a la agricultura; y también propicia asegurar la leal prestación de tales servicios y la eficacia las empresas que realizan trabajos de lucha contra las plagas, tanto de los métodos empleados como de los productos utilizados*.

Diferentes y sucesivas regulaciones a nivel nacional fueron acompañando las demandas internacionales y nacionales respecto al uso de los fitosanitarios (Molpeceres *et al.* 2019). Entre ellas, se destaca la promulgación de la Ley 25675/02 Ambiente Presupuestos Mínimos que propicia el logro de una gestión sustentable y adecuada del ambiente, la preservación y protección de la diversidad biológica y la implementación del desarrollo sostenible en Argentina. Asimismo, establece un marco general sobre información y participación en asuntos ambientales, la responsabilidad por daño ambiental y la educación ambiental. También se crean el Sistema Federal Integrado de Registros de Aplicadores de Productos Fitosanitarios y el Sistema de Trazabilidad de Productos Fitosanitarios y Veterinarios, ambos de limitado desarrollo e implementación a la fecha.

La Resolución 934/2010 (SENASA) establecen los límites máximos de residuos para productos o subproductos agropecuarios para consumo de origen nacional o importado. Por otro lado, la Resolución 302/12 (SENASA) establece la clasificación toxicológica de los PFs de acuerdo a su toxicidad aguda, adoptando como propias las pautas establecidas por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Cabe destacar, que en Argentina la clasificación toxicológica es por producto formulado y no sólo por principio activo (Figura 1). Hay registrados 6.065 productos formulados y 2.033 principios activos (SENASA 2023).

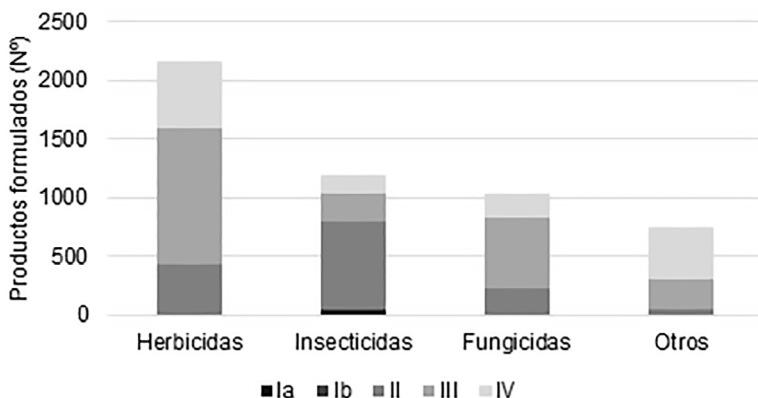


Figura 1. Clasificación toxicológica de los diferentes productos formulados registrados en Argentina ordenados según tipo de plagas a controlar. Clasificación toxicológica: Ia- Extremadamente peligroso; Ib- Altamente peligroso, II- Moderadamente peligroso; III- Ligeramente peligroso, IV- Productos que normalmente no presentan peligro. Elaboración propia. Fuente: Elaboración propia de SENASA 2020.

Mediante el Decreto 21/09 concerniente a ambiente y salud pública se crea la Comisión Nacional de Investigaciones en Agroquímicos para la investigación, prevención, asistencia y tratamiento en casos de intoxicación o que afecten, de algún modo, la salud de la población y el ambiente, con productos agroquímicos en todo el territorio nacional. Se buscó conformar un equipo interinstitucional y multidisciplinario con diversos objetivos con un abordaje integral de estudio y seguimiento del uso de los fitosanitarios (<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/decreto-21-2009-149505/texto>). En el año 2010, se crea Programa Nacional de Prevención y Control de Intoxicaciones por Plaguicidas (Resolución 276/10-Ministerio de Salud) con el objeto de identificar y relevar factores de riesgo para la población y vigilar las intoxicaciones por plaguicidas en todo el territorio nacional, con el fin de proponer y desarrollar mejoras en actividades de prevención y control.

Veintidós provincias poseen sus propias leyes que regulan el uso de los fitosanitarios; cada una de ellas con diferentes alcances y estados de implementación (<https://www.crea.org.ar/mapalegal/>). Por otra parte, los municipios tienen la facultad de promulgar ordenanzas que regulen el uso de los PFs, encuadradas en su competencia constitucional que estén correlacionadas con las atribuciones provinciales y nacionales.

Con el aumento en la toma de conciencia respecto al cuidado del ambiente y la salud en la población y de las acciones en tal sentido de diferentes organizaciones ambientalistas, se han generado demandas locales de regulación y control del uso de los PFs en gran número de comunas y municipios del país. De esta manera existen diferentes y heterogéneas experiencias de abordaje del tema, siendo lo más común el desarrollo de ordenanzas que establecen, desde niveles de restricciones a la utilización (totales o parciales) hasta pautas de buen uso de los PFs en las zonas en derredor de las áreas a proteger.

Si bien las normativas locales suelen ser muy diferentes entre sí, todas coinciden en el establecimiento de zonas a proteger (asentamientos humanos, cursos de agua, recursos naturales diferentes, etc.) rodeados de una zona llamada de amortiguamiento o buffer en la cual las restricciones o permisos de utilización de los PFs tienden a disminuir los efectos negativos sobre las áreas protegidas. En tal sentido se establecen mecanismos de control de cumplimiento de las normativas, siendo los de mayor eficacia la presencia de profesionales idóneos (Ing. Agrónomos veedores o fiscalizadores) controlando las aplicaciones in situ.

La Gestión de Envases Vacíos de Fitosanitarios (Ley 27.279) ha significado un avance en lo que respecta a la disposición final de los mismos. De acuerdo a la normativa de cada provincia, la Asociación Campo Limpio (<https://www.campolimpio.org.ar>) presenta ante la autoridad competente un plan de gestión de los envases vacíos para su disposición final. En la actualidad doce provincias

tienen instalados Centros de Acopio Transitorios de envases vacíos de fitosanitarios (Figura 2).



Figura 2. Distribución de los Centros de Acopio Transitorios de envases vacíos de fitosanitarios pertenecientes a la Asociación Campo Limpio. <https://www.campolimpio.org.ar/flyers/>

Uso de fitosanitarios en Argentina

Las estadísticas del mercado y la información del uso de PFs son relevantes ya que permiten conocer el posicionamiento de Argentina frente al comercio internacional, enfocar los esfuerzos de investigación respecto a los efectos e impactos de los fitosanitarios en el ambiente, orientar y priorizar las evaluaciones de riesgo en

aquellos productos que revisten los mayores usos y/o mayor peligrosidad, realizar estimaciones y prospecciones del desarrollo de resistencia por parte de las plagas, desarrollar estrategias alternativas para el manejo de las plagas en los sistemas de producción, etc. En Argentina no están disponibles las estadísticas oficiales del mercado de PFs. Sin embargo, la Cámara Argentina de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (CASAFA) periódicamente elabora informes y publica la evolución del mercado (Figura 3). En los últimos veinte años se observa el crecimiento en el uso PFs que acompaña el crecimiento de la superficie agrícola pero principalmente se asocia al crecimiento del área conducida en siembra directa (Figura 4). Esto radica en que el segmento de los herbicidas, insumo básico para el control de malezas en la siembra directa, desde el año 2016 alcanza casi el 90 % del mercado total de fitosanitarios.

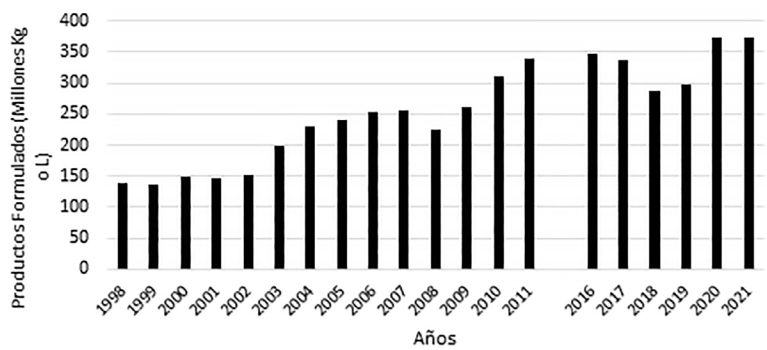


Figura 3. Evolución del mercado argentino de fitosanitarios. Fuente: (1998-2011) Kleffmann & Partner SRL – KLEFFMANNGROUP para CASAFA. <https://www.casafe.org/publicaciones/datos-del-mercado-argentino-de-fitosanitarios/> (2016-2021) Elaborado por CASAFA en base al relevamiento del mercado argentino de fitosanitarios realizado por Kynetec para CASAFA. Para el período comprendido en los años 2012 y 2015 no se dispone de dicha información.

El área de producción de granos (alpiste, arroz, avena, cártamo, cebada, centeno, colza, girasol, lino, maíz, maní, mijo, soja, sorgo y

trigo) y algodón alcanza aproximadamente 42.2 millones de hectáreas (SAGYP, 2022). El área tabacalera ocupa cerca de 60.571 ha (SAGYP, 2017); azucarera 390.000 ha (CAA, 2022), frutícola 556.522 ha (Sánchez, 2020), forestal cultivada 1.2 millones de hectáreas (SAGYP, 2022) y hortícola 930.000 ha (Kirschbaum, 2022); totalizando, según los años, aproximadamente 44.7 millones de hectáreas. Los diferentes cultivos, cada uno con sus particularidades, pueden estar expuestos a los efectos negativos de las plagas y tener requerimiento de intervención con los respectivos PFs para el manejo de los organismos perjudiciales.

Los cambios tecnológicos asociados a los procesos productivos trajeron aparejados la intensificación y aumento del uso de los PFs. Si bien son diversos los cultivos en los cuales se utilizan, puede observarse que los aumentos de los volúmenes utilizados acompañan el ritmo de adopción de la siembra directa y el área destinada a los cultivos de soja y maíz los cuales comprenden más del 60 % de la superficie sembrada con los cultivos de grano y algodón.

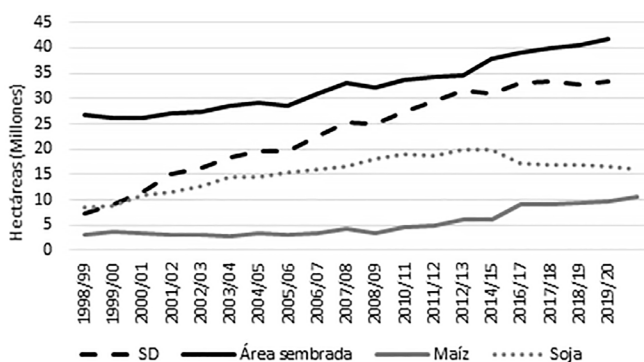


Figura 4. Área sembrada en siembra directa (SD) respecto al área sembrada de granos y algodón en la República Argentina (1998-2020) Fuentes: MAGYP/Estimaciones agrícolas. Adaptado de: AAPRESID. Siembra Directa en Argentina. Campaña 2019/2020.

<https://www.aapresid.org.ar/archivos/evolucion-siembra-directa2019-2020.pdf>

Manejo de los fitosanitarios

El uso adecuado de fitosanitarios debe garantizar la inocuidad de los productos derivados de la actividad productiva, la salud y el cuidado del ambiente. Aplicaciones incorrectas de fitosanitarios, ya sean involuntarias o no, pueden provocar consecuencias perjudiciales tanto para los cultivos como para el ambiente. Por lo tanto, es importante centrar los esfuerzos en utilizar las mejores prácticas de gestión de los PFs para minimizar las fuentes de errores y maximizar la precisión de la aplicación manteniendo la sostenibilidad del medio ambiente (Matthews 2000).

El uso de PFs es una actividad que, si se lleva a cabo en forma desaprensiva y/o sin los conocimientos necesarios, puede afectar negativamente la salud del operario directamente involucrado y de otras personas, así como también incidir negativamente sobre las diferentes esferas ambientales: agua, suelo, aire y organismos. Por lo tanto, debe ser efectuada por personal altamente capacitado y con gran nivel de responsabilidad.

De acuerdo a la Resolución 1002/2003 de Ministerio de Educación, Ciencia y Tecnología se definen las actividades profesionales reservadas al título de ingeniero agrónomo. Entre ellas, se detallan aquellas que involucran en forma directa o indirectamente la utilización de agroquímicos. Cabe aclarar que el término agroquímicos se diferencia de fitosanitarios porque considera también a los fertilizantes.

- Programar, ejecutar y evaluar la prevención y control de los factores bióticos que afectan la producción agrícola y forestal.
- Determinar las condiciones de almacenamiento, conservación, tratamiento sanitario y transporte y todo lo relacionado al manejo post-cosecha de granos, forrajes, frutos, semillas y otros productos vegetales.

- Programar, ejecutar y evaluar la formulación, certificación de uso, comercialización, expendio y aplicación de agroquímicos, recursos biológicos, recursos biotecnológicos, fertilizantes y enmiendas destinadas al uso agrícola y forestal, por su posible perjuicio a la integridad y conservación del suelo y el ambiente.
- Asesorar en la elaboración, almacenamiento, conservación y transporte de agroquímicos, recursos biológicos, recursos biotecnológicos, fertilizantes y enmiendas destinadas al uso agrícola y forestal.
- Programar, ejecutar y evaluar la utilización de técnicas agronómicas, en el manejo, conservación, preservación y saneamiento del ambiente, y en el control y prevención de las plagas que afectan a los sistemas de producción agropecuario y forestales, excluido los aspectos de salud pública y sanidad animal.

En este contexto, la figura del aplicador y/o operario es clave en el manejo de los PFs. Son los usuarios que se encuentran en contacto directo con los PFs. Por lo tanto, están sujetos a un mayor riesgo. Por ello, deben estar altamente capacitados en el manejo y manipuleo de los PFs y contar

con todos los elementos de protección personal necesarios para reducir la exposición al máximo. Por otro lado, la regulación de los equipos pulverizadores terrestres o aéreos debe garantizar la llegada del fitosanitario al blanco y mitigar al máximo la deriva. Por otra parte, si bien debe respetar las indicaciones impartidas por el

El concepto de “riesgo” integra la toxicidad de productos fitosanitarios y la exposición a los mismos. Los niveles de toxicidad son intrínsecos de las moléculas. Es en la exposición donde tenemos que poner el foco, desarrollando estrategias de manejo de los fitosanitarios que mitiguen las fugas del agroecosistema.

Se denomina **deriva** a toda gota que no alcanza el blanco. La deriva por aspersión es el movimiento físico de las gotas de aspersión (y sus restos secos) a través del aire desde la boquilla hacia cualquier sitio que no esté o fuera del objetivo en el momento de la aplicación o poco después. La frase “poco después” normalmente se refiere a un período de tiempo de menos de una hora (OECD 2020).

asesor técnico fitosanitario, también debe adecuar la regulación de los equipos pulverizadores a las condiciones meteorológicas imperantes. Recae sobre el aplicador la responsabilidad de reconocer en el terreno situaciones de vulnerabilidad que pongan en riesgo el medioambiente u organismos no blanco incluyendo a los seres humanos. Es por ello que es necesaria la capacitación permanente en torno a higiene seguridad la-

boral y respecto a las tecnologías de aplicación para la reducción de la deriva de gota, manejo de sobrantes, derrames accidentales, etc.

Las buenas prácticas agrícolas (BPAs) se podría decir sencillamente que se trata de *“hacer las cosas bien y dar garantías de ello”*. En un sentido más amplio, las BPA son un conjunto de principios, normas y recomendaciones técnicas aplicables a la producción, procesamiento y transporte de alimentos, orientadas a asegurar la protección de la higiene, la salud humana y el medioambiente, mediante métodos ecológicamente seguros y económicamente factibles traducidos en la obtención de productos alimenticios y no alimenticios más inocuos y saludables para el autoconsumo y el consumidor (FAO, 2004). En este contexto, se plantea una producción sostenible haciendo un “uso sostenible de los fitosanitarios” basada en el conocimiento científico actualizado, con el fin de reducir los riesgos y los efectos de los mismos sobre la salud humana y el ambiente.

En el año 2018 el grupo de trabajo interministerial sobre buenas prácticas en materia de aplicaciones de fitosanitarios (Resolución Conjunta MA-MAYDS N° 1/2018 https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/grupo_interministerial_fitosanitarios_portada.pdf) elaboró un informe en el que se definieron los principios que deben regir las políticas públicas nacionales sobre las aplicaciones de fitosanitarios en la agricultura; y recomendaciones para la adopción de las BPA y sistema de fiscalización y monitoreo de dichas actividades.

Este informe viene de alguna manera a cubrir el aspecto referido al uso y aplicaciones de los fitosanitarios, ausente en la Ley de Agroquímicos que data del año 1958. Es un informe que pone en relevancia y ordena los criterios y aspectos a considerar en una verdadera gestión integral de los fitosanitarios en el territorio argentino. Sin embargo, no cuenta con instrumentos para su implementación.

Estrategias

Antecedentes internacionales. Regulaciones y políticas públicas

En otros países también existen regulaciones para el uso de los fitosanitarios; las cuales son implementadas por diferentes estamentos del Estado o autoridades de aplicación. Camargo *et al.* (2020) analizan los diferentes marcos regulatorios de Brasil, Argentina, Colombia y Paraguay con el objeto de asegurar que los PFs aprobados sean efectivos en el control de las plagas y sean seguros para los seres humanos, animales y ambiente en general.

Por ejemplo, en Estados Unidos se disponen de oficinas estatales dependientes del Departamento de Agricultura que disponen de programas regulatorios y de educación continua para proteger la salud humana y el ambiente. En el caso de California (EEUU) existe el Departamento de Regulación de Pesticidas (*Department of Pesticide Regulation, DPR*). Las primeras leyes que reglamentaron

el uso de plaguicidas datan de los años 1901 y 1911. A partir de 1921 se requiere registro, en 1926 se realizan los primeros monitoreos de residuos, en la década del '40 se implementan regulaciones para limitar de deriva debido al aumento de los incidentes ocurridos en la interfase entre las comunidades urbanas y rurales. Reconociendo esto, el DPR ha propuesto varias estrategias para minimizar los incidentes de deriva de plaguicidas. En la década del '70 se establecen reglas para la protección y seguridad de los trabajadores, en los '80 se crea la unidad de evaluación de riesgo, y en los '90 se exige el reporte anual de uso de fitosanitarios. Las reglamentaciones están fundadas en el conocimiento científico. Por otra parte, las etiquetas de fitosanitarios son legalmente exigibles, y todas llevan la siguiente declaración: “Es una violación de la ley federal utilizar este producto de manera inconsistente con su etiquetado”. En otras palabras, la etiqueta es la Ley.

En particular hay reglamentaciones referidas, a las aplicaciones en áreas cercanas a zonas sensibles, por ejemplo, a establecimientos escolares. Se definen ciertas condiciones meteorológicas, horarios y se fijan distancias mínimas dependiendo del método de aplicación y producto a utilizar que pueden oscilar entre 7,62 m a 402,37 m.

Otros países como Australia, por ejemplo, poseen un “Manual de evaluación de riesgo de deriva de pulverización” (APVMA, 2019). La APVMA lleva a cabo evaluaciones de riesgo de deriva de las aplicaciones para garantizar que los productos fitosanitarios se puedan usar de una manera que no afecte negativamente la salud y la seguridad de los seres humanos o el medio ambiente y que no perjudique indebidamente el comercio internacional de Australia.

Existen programas responsables de examinar y otorgar licencias o certificar a aplicadores de plaguicidas calificados, pilotos de aviones para el control de plagas, y asesores técnicos para el control de plagas agrícolas, entre otros. Las capacitaciones se dividen en categorías. Por ejemplo, para el estado de Iowa se dividen en: control de malezas en agricultura, control de insectos en agricul-

tura, control de enfermedades en agricultura, control de plagas forestales, control de plagas en invernaderos, control de plagas en ornamentales, tratamiento de semillas, control de plagas acuáticas, aplicaciones aéreas, demostración e investigación, etc.

Sugerencias y recomendaciones generales

Desde la promulgación del Decreto Ley 3489 del año 1958, los sistemas productivos y las tecnologías de producción han cambiado rotundamente. Por lo tanto, es necesario readecuar las políticas públicas a un contexto actual con proyección a futuro. En base al análisis de estos avances y los aspectos considerados por diversos autores (Eyhorn *et al.* 2015, Carrancio y Massaro 2015, 2019 y Carrancio *et al.* 2015, 2016) se mencionan y elaboran algunas consideraciones a tener en cuenta (muchas de ellas ya se están realizando) para la elaboración de políticas públicas para la gestión integral de los fitosanitarios.

- La formulación de políticas públicas debe estar basada en la evidencia científica.
- Práctica regulatoria basada en resultados científicos independientes
- Apoyo a la ciencia y a la tecnología para la generación de información básica y evidencia científica en torno al uso de los PFs y el manejo de las plagas que aporte a la elaboración de políticas públicas. Fortalecimiento de los recursos humanos y las capacidades analíticas.
- Actualización de la ley de Agroquímicos la cual debe ser estrictamente de PFs ya sean de síntesis química o de origen biológico. Que brinde un marco de referencia a la heterogeneidad de normativas vigentes en la actualidad.
- La ley debe exigir la publicación anual de las estadísticas oficiales del uso de fitosanitarios expresado en principio activo.

- Uso y aplicación de PFs con prescripción de un profesional idóneo y habilitado.
- Ordenamiento territorial y planificación urbanística de los municipios.
- Programas de comunicación basados en evidencia científica en un lenguaje entendible para la comunidad en su conjunto. Proporcionar información y crear conciencia.
- Disponibilidad de estadísticas nacionales de personas intoxicadas por el manejo inapropiado de fitosanitarios, principalmente asociado a efectos crónicos.
- Implementación como políticas públicas del monitoreo de la calidad y la presencia de residuos de fitosanitarios en las diferentes esferas ambientales
- Elaboración de programas de capacitación y mejora continua con el otorgamiento de licencias o permisos destinadas a aplicadores, operarios, comercializadores y asesores técnicos.
- Programas de inscripción o registro y verificación técnica de los equipos pulverizadores terrestres y aéreos.
- Programas destinados a reducir los riesgos de plaguicidas mediante la adopción de las BPA y de alternativas tecnológicas sustitutas para el manejo de las plagas.
- Promover instrumentos de incentivos que acompañen la transición productiva de forma de promover la adopción de otros modelos o estrategias productivas con la reducción del uso de los fitosanitarios.
- Residuos de sustancia tolerables en lugar de cero residuos. En tal sentido, Cooper y Dobson (2007) explican que los límites máximos de residuos (LMR) legales son los más altos en concentración de pesticida (expresada en mg/kg) legalmente permitidos en o sobre productos alimenticios y alimentos para animales. Asociado a ello, surge la necesidad de generar datos específicos de consumo de alimentos de manera sistemática

para ser utilizados en evaluaciones de riesgo crónica, aguda y acumulativa (Maggioni et al. 2017).

- Promover metodologías para prevenir la contaminación (bio-profilaxis) como por ejemplo las “camas biológicas”.
- Programa de promoción de la implantación de cortinas forestales como amortiguadoras de la deriva de fitosanitarios (Oberschelp et al. 2020).
- Programa de implantación de borduras vegetadas perennes en las áreas adyacentes a áreas a proteger (Bentrup, 2008)
- Promoción para la adopción de tecnologías para la reducción de la deriva de gota
 - o Utilizar un tamaño de gota entre 250 y 500 micrones que dependerá de las condiciones meteorológicas, del cultivo y de la plaga blanco (Norma ASAE S-572)
 - o Aumentar volúmenes de aplicación.
 - o Procurar la estabilidad del botallón y trabajar con una altura de botallón lo más bajo posible, sin perjudicar la superposición del asperjado de las pastillas.
 - o Uso de pastillas de baja deriva o asistidas por aire.
 - o Uso del túnel de viento.
 - o Trabajar con las presiones recomendadas por el fabricante.
 - o Utilizar coadyuvantes (ej. Anti-deriva) en caso de ser necesario.
 - o Evitar trabajos con más de 18 km/h de viento si no se utilizan técnicas que superen estos efectos adversos.
 - o Hacer aplicaciones con Delta T entre 2 y 8. Este indicador relaciona condiciones de temperatura y humedad para una aplicación eficiente.
 - o Evitar aplicaciones durante condiciones de inversión térmica.
 - o Promover tecnologías de aplicación diferentes a las pulverizadoras terrestres o aviones aplicadores, por ejemplo, maquinaria innovadora de aplicación dirigida de agroquímicos fito-

sanitarios, sistemas de auto guiado, sensores, drones agrícolas, uso de telemetría para controles a distancia de las condiciones de aplicación.

- Diseño y establecimiento de franjas de amortiguamiento como estrategia eficaz de protección de zonas sensibles.
- Implementación de los análisis de riesgo de aplicaciones de fitosanitarios, que tengan en cuenta a todos los actores involucrados y bienes y servicios ecosistémicos.

Referencias

- APVMA. Australian Pesticides and Veterinary Medicines Authority. 2019. Spray drift risk assessment manual. Stage one. JULY 2019. 65 pp.
- ASAE S-572 Spray Tip Classification by Droplet Size, Developed by the Pest Control and Fertilizer Application Committee; approved by the Power and Machinery Division Standards Committee; adopted by ASAE PM41. Pág. 64-68.
- Bentrup G. 2008. Zonas de amortiguamiento para conservación: lineamientos para zonas de amortiguamiento, corredores y vías verdes. Informe Técnico Gral. SRS-109. Asheville, NC: Departamento de Agricultura, Servicio Forestal, Estación de Investigación Sur. 128 p. chrome-extension://efaidnbmnnnibp-cajpcgclclefindmkaj/https://www.fs.usda.gov/nac/buffers/docs/GTR-SRS-109_Spanish.pdf
- Bonanse RI, Amé MV, Wunderlin DA. 2013. Determination of priority pesticides in water samples combining SPE and SPME coupled to GC-MS. A case study: Suquía River basin (Argentina). *Chemosphere*. 90: 1860-1869. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.10.007>.
- Brodeur JC, Sanchez M, Castro L, Rojas DE, Cristos D, Damon-te MJ, Poliserpi MB, D'Andrea MF, Andriulo AE. 2017. Ac-

- cumulation of current-use pesticides, cholinesterase inhibition and reduced body condition in juvenile one-sided livebearer fish (*Jenynsia multidentata*) from the agricultural Pampa region of Argentina. *Chemosphere*. 185: 36-46. doi: 10.1016/j.chemosphere.2017.06.129.
- Brodeur JC, Damonte MJ, Rojas DE, Cristos D, Vargas C, Poliserpi MB, Andriulo AE. 2022. Concentration of current-use pesticides in frogs from the Pampa region and correlation of a mixture toxicity index with biological effects. *Environmental Research*. 204 (Part D). 112354.
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112354>.
- CAA. Centro Azucarero Argentino. 2022. Producción en el país. <https://centroazucarero.com.ar/produccion/> Acceso 10/11/2022.
- Camargo ER, Zapiola ML, Avila LA, García MA, Plaza G, Gazziero D, Hoyos V. 2020. Current situation regarding herbicide regulation and public perception in South America. *Weed Sci*. 68: 232–239. doi: 10.1017/wsc.2020.14
- Carrancio, L. Massaro, R. 2015. Pautas para el uso de plaguicidas en áreas críticas. Informe Técnico. Ed. INTA.
- Carrancio L, Massaro R, Vergini M. 2015. Apuntes para el abordaje del conflicto urbano-rural. Disponible en: <http://inta.gob.ar/noticias/apuntes-para-el-abordaje-del-conflicto-urbano-rural> Fecha de captura: 09/03/2016.
- Carrancio, L, Massaro, R. Cardozo, F. 2016. Criterios para el uso de plaguicidas en áreas críticas. Cartilla Técnica INTA EEA Oliveros.
- Carrancio L. y R. Massaro. 2019. El Delta T (ΔT) como indicador del ambiente meteorológico para pulverizaciones. *Revista Para mejorar la producción INTA EEA Oliveros*. pp: 193-201.
- Castro Berman M, Marino D, Quiroga M, Zagarese H. 2018. Occurrence and levels of glyphosate and AMPA in shallow lakes

- from the Pampean and Patagonian regions of Argentina. Chemosphere. 200. 10.1016/j.chemosphere.2018.02.103.
- Cooper J, Dobson H. 2007. The benefits of pesticides to mankind and the environment. Crop Protection. Volume 26, Issue 9, 1337-1348. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2007.03.022>.
- De Gerónimo E, Aparicio VC, Bárbaro S, Portocarrero R, Jaime S, Costa JL. 2014. Presence of pesticides in surface water from four sub-basins in Argentina. Chemosphere.107: 423-431
- Etchegoyen MA, Ronco AE, Almada P, Abelando M, Marino DJ. Occurrence and fate of pesticides in the Argentine stretch of the Paraguay-Paraná basin. Environ Monit Assess. 2017 Feb;189(2):63. doi: 10.1007/s10661-017-5773-1.
- Eyhorn F, Roner T, Specking H. 2015. Reducing pesticide use and risks - What action is needed?. Briefing paper. HELVETAS Swiss Intercooperation. 31 pp.
- FAO. 2003. Código Internacional de Conducta para la Distribución y Utilización de Plaguicidas (Versión Revisada). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, ROMA. <https://www.fao.org/3/y4544s/y4544s00.htm#Contents>
- FAO. 2004. Las Buenas Prácticas Agrícolas. Santiago de Chile, Chile. <http://www.rlc.fao.org/foro/bpa/pdf/bpa.pdf>.
- FAO. 2016. NORMAS INTERNACIONALES PARA MEDIDAS FITOSANITARIAS. NIMF 5. Glosario de términos fitosanitarios. Producido por la Secretaría de la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria. <http://www.fao.org/3/a-mc891s.pdf> (www.fao.org/publications) (www.ippc.int.)
- Johnston AE y Poulton PR. 2018. The importance of long-term experiments in agriculture: their management to ensure continued

- crop production and soil fertility; the Rothamsted experience. *Eur J Soil Sci*, 69: 113-125. <https://doi.org/10.1111/ejss.12521>
- Keulemans W, Bylemans D, De Coninck B *et al.* 2019. Farming without plant protection products Can we grow without using herbicides, fungicides and insecticides? Scientific Foresight Unit EPRS. European Parliamentary Research Service. 44 pp. doi:10.2861/05433.
- Kirschbaum, D.S. 2022. Horticultura: realidad y perspectivas de un sector clave. IDIA21. Año 2 N° 2 octubre 2022. INTA. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Rivadavia 1439. CABA. Buenos Aires, Argentina. 84 pp. https://inta.gob.ar/sites/default/files/pubidia22_ano2_n2_octubre_v5.pdf
- Maggioni DA, Signorini ML, Michlig N, Repetti MR, Sigrist ME, Beldomenico HR. 2017. Comprehensive estimate of the theoretical maximum daily intake of pesticide residues for chronic dietary risk assessment in Argentina, *Journal Environmental Science and Health, Part B*. 52 (4), 256-266. DOI: 10.1080/03601234.2016.1272997
- Mateo-Sagasta J, Marjani S, Turrall H. 2018. More people, more food, worse water?: A global review of water pollution from agriculture. In: Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) and International Water Management Institute. ISBN: 978-92-5-130729-8
- Matthews GA. 2000. Pesticide Application Methods. Third Edition - 1979, 1992, 2000 Blackwell Science Ltd - 432 p.
- Molpeceres MC, Ceverio R, Brieva SS. 2019. Agroquímicos: cambios en la agenda internacional e instrumentos de regulación en Argentina (1950-2015). *Estudios Socioterritoriales*, 25 Recuperado en 17 de abril de 2023, de http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1853-43922019000100012&lng=es&tlng=es.

- Nayak MK, Daglish GJ. 2018. Importance of Stored Product Insects. In: Recent Advances in Stored Product Protection. Editors Christos G. Athanassiou, Frank H. Arthur. Springer. 1-17 <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56125-6>
- Oberschelp GPJ, Harrand L, Mastrandrea C, Salto C, Palenzona M. 2020. Cortinas forestales: rompevientos y amortiguadoras de deriva de agroquímicos. Buenos Aire: Ediciones https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_concordia_cortinas_forestales.pdf
- Oliveira Souza MC, Alves Rocha B, Adeyemi JA, Nadal M, Domingo JL, Barbosa F. 2022. Legacy and emerging pollutants in Latin America: A critical review of occurrence and levels in environmental and food samples. *Science of The Total Environment* 848: 157774. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.157774>
- OMS-WHO. 1990. The public health impact of pesticides use in agriculture. World Health Organisation, Geneva.
- Pérez DJ, Okada E, De Gerónimo E, Menone ML, Aparicio VC, Costa JL. 2017. Spatial and temporal trends and flow dynamics of glyphosate and other pesticides within an agricultural watershed in Argentina. *Environ Toxicol Chem* 36: 3206–3216. DOI: 10.1002/etc.3897
- SAGYP. 2022. Estimaciones Agrícolas. Informe Semanal 17 de Noviembre de 2022. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Ministerio de Economía, Argentina. 34 pp. https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/estimaciones/archivos/estimaciones/220000_2022/221100_Noviembre/221117_Informe%20Semanal%2017%2011%2022.pdf
- SAGYP. 2017. Tabaco. Producción y Mercado Interno. Datos últimos 10 años (2007-2017). ÁREA PLANTADA, COSECHA, PRODUCCIÓN Y RENDIMIENTO.

https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/tabaco/produccion_mercados/interno/index.php. Acceso 10/11/2022

SAGYP. 2022. Desarrollo Foresto Industrial. Tablero de plantaciones forestales. Acceso 19/01/2023 <https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/desarrollo-foresto-industrial/inventarios/tablero.php>

Sánchez, E.E. 2020. Programa Nacional Frutales : superficie ocupada por plantaciones frutales en el país y cambios en su estructura productiva. Buenos Aires. Ediciones INTA, Estación Experimental Agropecuaria. Balcarce. 25 pp.

SENASA. 2007. Dirección Nacional de Fiscalización Agroalimentaria. SANIDAD VEGETAL. Disposición 119/2007. <http://www.senasa.gob.ar/normativas/disposicion-119-2007-senasa-servicio-nacional-de-sanidad-y-calidad-agroalimentaria>

SENASA. 2020. Registro Nacional de Terapéutica Vegetal. <https://www.argentina.gob.ar/files/productosformuladosoctubre2021xls> Ingreso 23/3/2022

SENASA 2023. Registro nacional de terapéutica vegetal. <https://aps2.senasa.gov.ar/vademecum/app/publico/formulados> Ingreso 17/4/2023.

Stehle S, Schulz R. 2015. Agricultural Insecticides Threaten Surface Waters at the Global Scale. Proceedings of the National Academy of Sciences 112: 5750-5755. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500232112>

Tang FHM, Lenzen M, McBratney A, Maggi F. 2021. Risk of pesticide pollution at the global scale. Nature Geoscience. DOI: 10.1038/s41561-021-00712-5.

Tilman D. 1999. Global environmental impacts of agricultural expansion: the need for sustainable and efficient practices. Proc. Natl. Acad. Sci. 96:5995-6000. doi: 10.1073/pnas.96.11.5995.

- Washuck N, Hanson M, Prosser R. 2022. Yield to the data: some perspective on crop productivity and pesticides. *Pest Manag Sci.* 78: 1765-1771. <https://doi.org/10.1002/ps.6782>
- Zimdahl RL. 2013. *Fundamentals of Weed Science*. 4th Edition - Academic Press. 664 pp.

Capítulo 8

Gestión de bosques nativos con ganadería y manejo del fuego: desafíos y oportunidades

**Gabriel Vázquez Amábile, Alejandro Radrizzani,
Pablo Peri y Eugenia Magnasco**

Introducción

En nuestro país, la gestión del bosque nativo (BN) con ganadería y el manejo del fuego, han sido temas de creciente discusión en los últimos años. Si bien ambos temas no son nuevos, el interés en su abordaje ha aumentado a partir de la promulgación de la Ley 26.331 de Ordenamiento Territorial de Bosque Nativo (OTBN) de fines del 2007, y de la ley 26.815, conocida como Ley del Fuego, promulgada en el año 2013 y modificada en el 2020.

El presente capítulo describe en primer lugar el contexto actual de estas cuestiones en cuanto a la información disponible y al marco normativo actual de nuestro país. En segundo término, se plantean las oportunidades potenciales que se presentan para el sector agropecuario, considerando las implicancias ambientales que deben prevenirse, como así también las barreras que lo dificultan y las estrategias necesarias para superarlas. El objetivo no es agotar el tema, sino brindar a decisores, públicos y privados, elementos para soluciones prácticas que conjuguen el uso sostenible de los BN con el crecimiento económico y desarrollo en distintas

regiones del país. Esto último, implica un desafío muy grande que compromete a un diálogo abierto y responsable entre los actores del sector agropecuario, desde la academia hasta el empresario, y desde el profesional hasta el hacedor de políticas públicas.

En cuanto a la gestión del BN, si bien este tema incluye el control de la deforestación, nos enfocaremos principalmente en 3 grandes variantes de uso del BN en pie acorde a la normativa vigente; (1) el aprovechamiento del BN por extracción de productos maderables y no maderables (2) el beneficio por captura de carbono y reducción de emisiones de GEI y (3) el uso ganadero en sistemas silvopastoriles.

Gestión de Bosques Nativos: contexto actual y marco normativo

Sin duda, un aspecto central, tanto para la regulación como para la gestión, es el grado de conocimiento que tenemos de los BN de nuestro país. En este aspecto, el segundo inventario nacional de BN (INBN2), llevado a cabo por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Argentina (MAyDS) entre los años 2015 y 2019 (SAyDS, 2019), presenta información actualizada de las coberturas y estructuras de bosques del país.

Como todo recurso natural, los BN no escapan a los conceptos de “aprovechamiento”, “uso racional” y “conservación”. El equilibrio de estos términos puede resumirse en el extendido concepto de “uso sostenible” que requiere contar con indicadores útiles para evaluar el nivel de degradación del recurso; como así también la difusión y adopción de buenas prácticas de manejo que garanticen su conservación. En este sentido, la ley nacional 26.331 de OTBN, sancionada en 2007, ha establecido criterios y restricciones que rigen para la remoción total o parcial de la biomasa boscosa. Se trata de una ley marco que establece presupuestos mínimos de protección ambiental para el enriqueci-

miento, restauración, conservación, aprovechamiento y manejo sostenible de los BN. Actualmente, en cumplimiento con lo dispuesto por la normativa nacional, las 23 provincias cuentan con leyes que ordenan sus BN. La ley (artículo 9) define 3 categorías de conservación, en función del valor ambiental de las distintas unidades de BN y de los servicios ambientales que éstos presten, de acuerdo con 10 criterios de sustentabilidad ambiental, listados en el anexo de dicha ley.



Categoría I. Rojo: muy alto valor de conservación. No deben transformarse. Su uso queda limitado a ser hábitat de comunidades indígenas y objeto de investigación científica.



Categoría II. Amarillo: sectores de mediano valor de conservación. Su uso queda limitado al aprovechamiento sostenible, turismo, recolección e investigación científica.



Categoría III. Verde: sectores de bajo valor de conservación. Pueden transformarse parcialmente o en su totalidad.

La Tabla 1 presenta el área total, y por región forestal, ocupadas por las categorías de conservación de la ley. La Figura 1 muestra la distribución geográfica de estas regiones y las áreas definidas por las provincias en sus reglamentaciones correspondientes de OTBN.

Tabla 1 Superficies totales de BN por categoría de conservación, total y por región. Fuente: Tercera Comunicación Nacional (no incluye provincias de Buenos Aires y Santa Fe) (SAyDS, 2015)

Region Forestal	I - Rojo (ha)	II - Amarillo (ha)	III – Verde (ha)	Total (ha)
Parque Chaqueño	5,425,020	15,782,504	7,685,192	28,892,716
Espinal	550,720	4,622,598	1,303,272	6,476,589
Selva Tucumano-Boliviana (Yungas)	1,075,372	2,987,556	406,554	4,469,482
Monte	458,624	2,986,295	205,154	3,650,073
No Forest	565,188	1,468,250	31,595	2,065,033
Bosque Andino-Patagónico	891,354	882,841	61,568	1,835,762
Selva Misionera	230,973	992,921	459,579	1,683,473
Total	9,197,250	29,722,965	10,152,913	49,073,128

Los planes de manejo y conservación y de cambio de uso del suelo

Según la ley (artículos 16 y 17), toda intervención sobre el BN requiere una autorización, para lo que deberá presentarse un Plan de Manejo (PM) o Plan de Cambio de Uso del Suelo (PCUS), según la categoría a intervenir.

Para cada nivel de conservación se presentan distintas opciones de intervención, que se resumen en la Figura 2. Los titulares de tierras de cualquier categoría pueden presentar un “*Plan de conservación*”, mientras que para realizar el manejo sostenible de BN se requiere estar encuadrado en las categorías II o III, y deberá presentarse un “*Plan de Manejo Sostenible de BN*”. Quienes soliciten autorización para realizar desmontes de BN de la categoría III deberán sujetar su actividad a un “*Plan de Aprovechamiento del Cambio de Uso del Suelo*”.

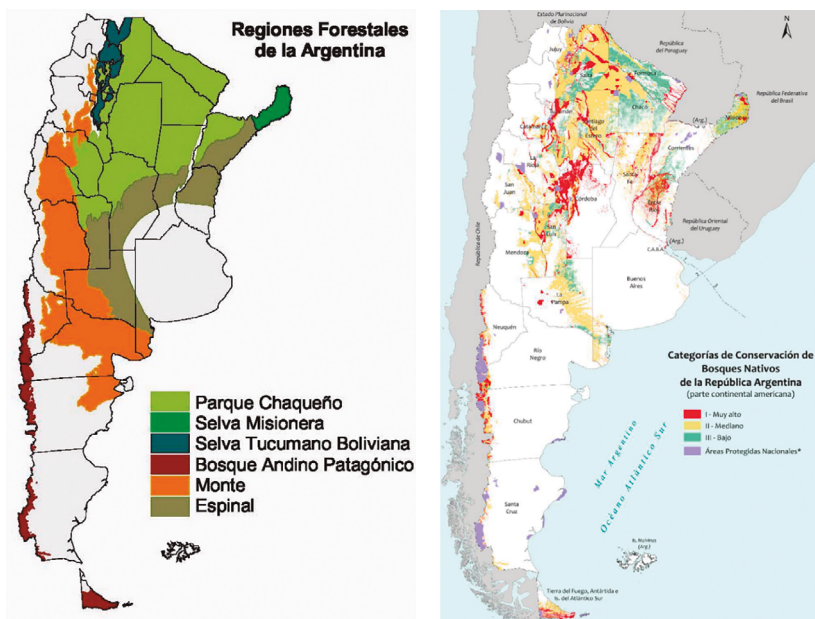


Figura 1- Regiones forestales de Argentina (izquierda) y mapa de Ley 26.331 de OTBN (derecha.). fuente: Dirección de Bosques, SAyDS de la Nación

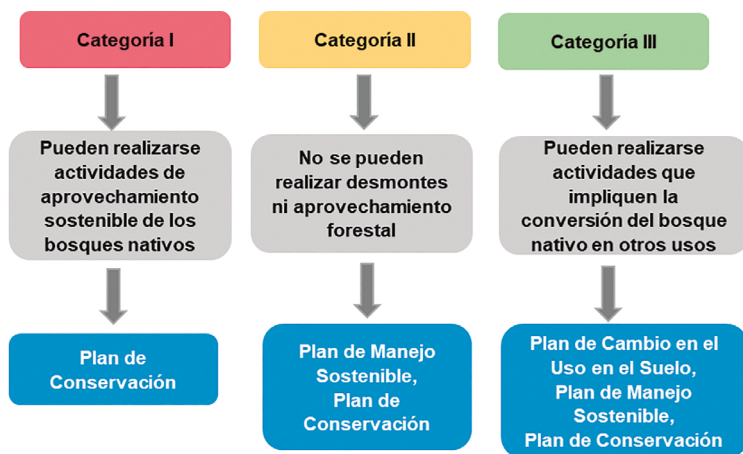


Figura 2 - Opciones de intervención según área de conservación establecida por la Ley 26331

Instrumentos y financiamiento de la ley de OTBN

La Ley 26.331 de OTBN cuenta con 2 instrumentos para asistir a las provincias en la realización de sus respectivos ordenamientos territoriales y para los titulares de los planes de manejo y conservación. Estos son:

- El Programa Nacional de Protección de Bosques Nativos: creado en el artículo 12 tiene como misión fomentar el manejo sostenible de los bosques categoría II y III;
- El Fondo Nacional para el Enriquecimiento y la Conservación de los Bosques Nativos (FNECBN): creado en el artículo 30, con el fin compensar los servicios ambientales que brindan los BN. Este Fondo sirve para fortalecer a las jurisdicciones locales y apoyar económicamente a tenedores de bosques en la implementación de esquemas de manejo forestal sostenible.

En cuanto al financiamiento, el artículo 31 establece que las partidas presupuestarias anualmente asignadas a la ley no pueden ser menores al 0,3% del presupuesto nacional anual; además de otras fuentes de financiación provenientes del 2% del total de las retenciones a las exportaciones de productos primarios y secundarios provenientes del sector agropecuario (incluido el sector forestal). Sin Embargo, desde la promulgación de la ley de OTBN hasta la actualidad, nunca se cumplió este apartado con el presupuesto previsto (FARN, 2020). Por ejemplo, para el año 2022 la suma de los montos asignados a ambos instrumentos representó apenas un 3% del valor que establece la propia Ley (CoFEMA, 2022). A su vez, de las partidas presupuestarias asignadas, nunca se transfirió la totalidad a las provincias debido a la falta de cumplimiento de requisitos administrativos.

El Programa ONU REDD+

Una fuente de financiamiento externa, complementaria de la ley de OTBN, son los “pagos basados en resultados” del programa REDD+ de Naciones Unidas. REDD+ significa “Reducción de Emisiones de la Deforestación y la Degradación Forestal” y es un mecanismo creado por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que incentiva a los países a desarrollar acciones y políticas nacionales en línea con los compromisos asumidos en el Acuerdo de París.

En el caso de Argentina, la estrategia nacional de REDD+ es el Plan de Acción Nacional de Bosques y Cambio Climático, y dentro del mismo la ley de OTBN como instrumento central. En 2019, en el marco del programa REDD+, Argentina recibió del Fondo Verde del Clima un primer pago de 82 millones de dólares por reducción de emisiones a partir de la deforestación evitada durante el período 2014-2016, de un total 165 MtCO₂eq respecto al Nivel de Referencia de Emisiones Forestales (101 MtCO₂eq). El monto recibido se destinará a: autoridades de aplicación y desarrollo de programas de implementación territorial (60%), desarrollo de cuencas forestales (17%), financiamiento en Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) (13%) y prevención de incendios (10%)

Impactos de la implementación de la Ley 26.331: Desmonte y Planes de Manejo y Conservación

El impacto de la promulgación de la ley de OTBN puede observarse en 2 indicadores principales. En primer lugar, la tasa de desforestación ha disminuido en el periodo posterior al año de su implementación (2007). El área deforestada en el periodo 1998-2018 fue 6.6 millones de hectáreas. Sin embargo, en la Figura 3 se puede observar la evolución de la tasa anual de desmonte, mostrando un incremento hasta el año 2007 y una disminución promedio sostenida en el periodo 2007-2019, lo cual derivó en los pagos del

programa ONU-REDD+, comentado anteriormente. En segundo lugar, el grado de adhesión a la ley puede inferirse por la creciente presentación de planes de Conservación, y de Manejo y Conservación. La Figura 4 muestra la evolución de la superficie correspondiente a planes vigentes de manejo y conservación (MAyDS, 2021).

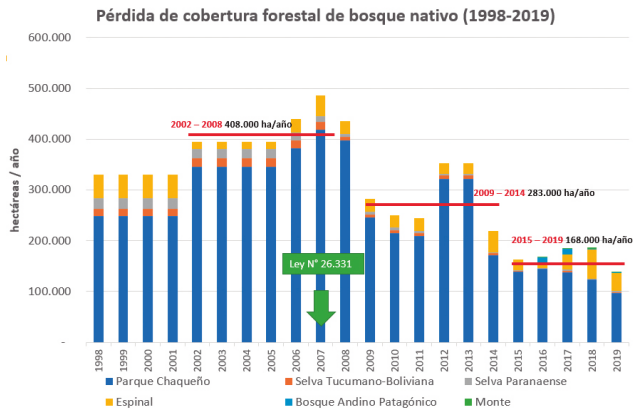


Figura 3- Pérdida de cobertura forestal de BN, diferenciada según región forestal (1998-2019) - Fuente: Elaboración propia en base a Unidad de Manejo del Sistema de Evaluación Forestal. (2020).

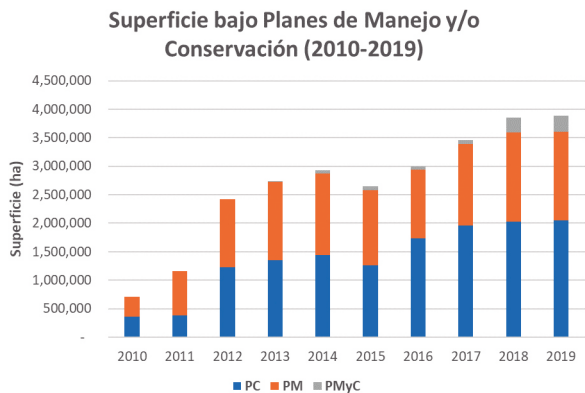


Figura 4- Superficie bajo Planes de Manejo y/o Conservación. PC: Planes de Conservación, PM: Planes de Manejo, PM y C: Planes de Manejo y Conser-

vación para establecimientos con más de una categorización de BN.- Fuente: MAdS,(2021)

En este sentido, presumiblemente la ley ha cumplido sus objetivos ya que en paralelo a la disminución del desmonte, se ha ido incrementando la superficie de BN intervenidos bajo pautas de manejo y de conservación a nivel nacional. Según el MAdS (2021), en el año 2019, la superficie total de planes sumaba 3.884.000 de hectáreas, correspondiendo un 53% a planes de conservación (PC), 40% a planes de manejo (PM) y un 7% a planes de manejo y conservación (PMC).

Gestión sostenible y horizonte productivo de los Bosques Nativos

Además de un marco regulatorio, el desarrollo de actividades en torno al uso sostenible del BN implica un desafío y un camino de aprendizaje en el que intervienen productores, investigadores y técnicos de organizaciones públicas y privadas, en constante interacción. Vale decir que la ley de OTBN constituye un primer paso en la definición de criterios de conservación de los bosques, pero no desarrolla ni ilustra acerca de cómo llevar a cabo el “uso sostenible” del BN. En este sentido, la ley prevé un camino de mejora en el tiempo, a través de revisiones periódicas de la reglamentación en las provincias, cada cual con sus particularidades.

En el presente capítulo se abordan las dos principales actividades económicas por las cuales está permitido legalmente la intervención del BN, y que se encuentran mayormente dentro de las “áreas amarilla y verde” (categorías II y III). Estas actividades, que ofrecen oportunidades para el crecimiento económico y el desarrollo de muchas provincias son:

- *Aprovechamiento forestal racional del BN (extracción de productos maderables y no maderables)*
- *Producción ganadera silvopastoril.*

En término de generación de empleo, el sector forestal está lejos de alcanzar su potencial. A nivel nacional, al año 2020, las 32 cadenas agroalimentarias (CAA) aportaron el 24% del empleo privado lo cual totaliza alrededor de 3.9 millones de puestos de trabajo. La cadena forestal, como parte de las 32 CAA aporta el 3%, aproximadamente 113.000 puestos (Ariño et al., 2020). Esto es consistente con el trabajo de CEPAL (Lodola et al., 2010) que al 2007 reportaba 98.000 puestos para la cadena forestal. En tanto que sólo las cadenas: bovina de carne (13.3%), bovina láctea (6.6%), soja (10.3%), maíz (4.2%), algodón (3.7%) y trigo (5.1%) sumaban un 43% del empleo con 815.000 puestos de trabajo. Esto significa que la incorporación de la ganadería y la agricultura a la región chaqueña y NOA no sería un reemplazo, sino también una sinergia en el proceso de crecimiento del empleo en el que la cadena forestal tiene todavía mucho potencial, debido a su mayor extensión territorial.

Gestión Forestal del Bosque nativo en Argentina: desafíos y oportunidades

El desarrollo de actividades económicas y sostenibles en las “áreas amarillas” sigue siendo materia de estudio y debate. Nuestro país, tiene profesionales, investigadores y empresas en la cadena forestal que pueden interpretar, aprovechar y resolver los desafíos y oportunidades que deben enfrentarse en profundidad. Además, hay varios autores y documentos públicos en torno a estas cuestiones, lo cual es promisorio.

Según Mónaco et al. (2020), *“El desafío actual del manejo de los BN requiere de un nuevo marco conceptual, donde las prácticas silvícolas se incluyan en una planificación de la matriz del paisaje, y donde se integren todos los factores de la producción, garantizando las funciones del ecosistema y su diversidad”*. Los mismos autores identifican también las oportunidades y esbozan posibles estrategias:

“Una de las estrategias más importantes para el manejo de los BN es fomentar el valor agregado de los productos forestales madereros y no madereros”. Es decir, que paralelamente al clúster forestal de especies implantadas que se encuentra mayormente en la Mesopotamia argentina, podría desarrollarse un clúster forestal de especies nativas en la región Chaqueña y el NOA, con características propias y de igual competitividad. Países como EEUU y Canadá tiene una larga experiencia en extracción de madera y regeneración de sus bosques, que son en su mayoría bosques naturales.

En términos de emisiones y capturas de CO₂, la extracción sostenible de madera de los BN podría incluso generar una mayor captura de carbono que la actual, lo cual puede implicar ingresos de divisas por medio del programa ONU REDD+ y del mercado internacional del carbono. Según el inventario de GEI publicado en 4to informe bienal de la Argentina (BUR 4) (MAyDS, 2021), el sector forestal en su conjunto genera una captura neta de carbono a nivel país. Sin embargo, los bosques implantados presentan un balance positivo, mientras que en BN el balance de carbono es negativo, debido a que la extracción supera la tasa de crecimiento. Un dato relevante es que, por primera vez, el BUR 4 incluyó el cálculo de captura de carbono de la categoría Productos de Madera Recolectada (PMR), que incluye madera aserrada (mueblería y construcción), tableros, papel y cartón, y excluye leña y carbón. La inclusión de PMR en el año 2018 incrementó un 21% el secuestro de carbono en la categoría bosques (nativos y cultivados), es decir que redujo emisiones de GEI.

La Tabla 2 compara la emisión neta (emisión por extracción – captura por crecimiento) provenientes de BN y de bosques implantados, según el BUR 4, al año 2018 y el impacto de la “no emisión” de los PMR, anteriormente considerada como emisión. La Figura 5 muestra la serie histórica de la emisión neta conjunta de la categoría Bosques (nativos e implantados), y la nueva serie

histórica considerando el secuestro en PMR. Esta categoría es importante, porque el impacto futuro de “capturas” en PMR, podría ser más significativo en BN que en bosques cultivados, debido a la mayor vida media de los PMR provenientes de BN, que de bosques cultivados, en los cuales se destina una parte significativa a elaborar papel y cartón, de corta vida como PMR.

Tabla 2 - Emisiones netas de Bosques Nativos y cultivados al 2018, antes y después de considerar el secuestro en Productos de Madera Recolectados

BUR 4 – 2018	MtCO2eq
Emsion Neta Bosques Nativos (BN)	9.81
Emsion Neta Bosques Cultivados (BC)	-20.45
Emission Neta BN+BC	-10.64
Captura en PMR	-2.44
Captura Neta BN+BC +PMR	-13.09

A esto hay que sumarle la capacidad de los BN de almacenar carbono orgánico en los suelos (COS) cuyo stock sería relevante incorporar en los cálculos del Nivel de Referencia de Emisiones Forestales de Argentina en el programa REDD+ (Peri et al.,2021).

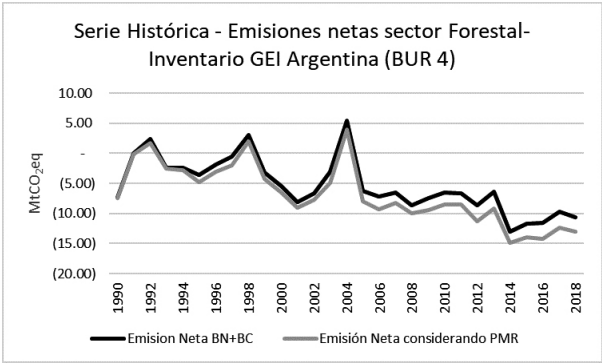


Figura 5 - Serie histórica de balance de emisiones (Emisión y Captura) Tierras forestales que permanecen como tales (Bosques Nativo e implantados)

En términos de producción forestal, la superficie intervenida de BN en 2018 (MAyDS, 2021) fue de 3.13 millones de hectáreas, sobre un total de aproximadamente 50 millones de hectáreas de BN, de las cuales cerca de un 80% corresponderían a las categorías II y III. Es decir que la superficie de aprovechamiento actual estaría en menos del 10% del total potencial legalmente aprovechable, aunque la tasa de extracción superaría la tasa de crecimiento. Mientras que el área de bosques implantados (pinos, eucaliptos y salicáceas) es cercana a 1.3 millones de hectáreas y a la inversa que en BN, el crecimiento anual supera a la extracción anual de madera. En 2018, sobre las superficies mencionadas, la extracción total (productos maderables, carbón y leña) fue 3.33 millones de m³ en BN y de 14.95 millones de m³ (MAyDS, 2021). Como se ve, existe en el país, una brecha muy grande entre la extracción forestal proveniente de BN y de bosques cultivados y un gran potencial de mejora.

Recientemente, se presentó el primer libro de silvicultura y manejo de los bosques nativos de Argentina para las principales regiones forestales del país (Selva Misionera, Yungas, Monte, Espinal, Parque Chaqueño y Patagonia), la descripción del BN y principales tipos forestales, el manejo tradicional o histórico a escala de paisaje (o provincial) y rodal, los beneficios y compensaciones de la silvicultura respecto de ecosistemas de referencia (biodiversidad, estructura forestal, microclima, ciclos naturales, servicios ecosistémicos), propuesta de una nueva silvicultura y de nuevos paradigmas de manejo incluyendo todos los usos como el manejo maderero, silvopastoril, restauración, enriquecimiento, turismo, recreación, productos forestales no madereros (Peri et al. 2021 b). Es decir, hoy se cuenta con información y herramientas para la toma de decisiones en la gestión de los bosques de las provincias del país y para planes de manejo sostenible de los bosques en el marco de la Ley 26.331, incluyendo la extracción de madera para diferentes usos.

Uso Silvopastoril en la Región Chaqueña: oportunidades y desafíos

Históricamente, en el Chaco Semiárido, los principales usos del bosque fueron la explotación forestal y la ganadería de monte, ambas con escaso manejo, sin planificación y con características de extracción minera. Sin embargo, en los últimos 40 años se ha producido una intensificación ganadera asociada a la implantación de pasturas megatérmicas, al uso de forrajes conservados y a la suplementación con granos, además de un manejo reproductivo y sanitario más eficiente (Fumagalli *et al.* 1997). Con la intensificación de la producción, se logró aumentar la carga a niveles de 0,2-1 cabezas/hectárea en sistemas de cría y ciclo completo, y niveles de 2-5 cabezas/hectárea en sistemas de engorde (Nasca *et al.* 2015). Este cambio se refleja en el crecimiento del stock bovino a nivel regional. Las existencias del stock bovino de carne total de las Provincias de Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Tucumán, Salta y Jujuy, aumentó un 50% en el periodo 2002-2019, pasando de 5.05 a 7.67 millones de cabezas (SENASA, 2019).

La ley de OTBN prevé el uso ganadero en BN dentro de las categorías II y III, siendo la categoría II (amarillo), donde se producen los mayores conflictos ya que permite el aprovechamiento sostenible del bosque (forestal y ganadero), el turismo, la recolección y la investigación científica, pero no el desmonte. En este sentido, las estrategias principales para sistemas ganaderos son los sistemas silvopastoriles y el Plan de Manejo del Bosque con Ganadería Integrada (MBGI), ambas en discusión y bajo investigación. Se estima que un 30% de la superficie con bosques en la región Chaqueña involucra algún tipo de uso silvopastoril (Peri, 2012). A continuación presentamos en forma muy sucinta sus principales características.

Sistemas silvopastoriles en bosques nativos

En términos generales, los sistemas que integran árboles y arbustos con pastura y producción ganadera en una misma unidad

de tierra, son conocidos en el mundo como sistemas silvopastoriles. A diferencia de otros sistemas de este tipo que son creados a través de la implantación de árboles con un diseño y densidad planificados, el desarbustado en el Parque Chaqueño se utiliza para crear un sistema silvopastoril a partir de los árboles existentes. La práctica del desarbustado, o desmonte selectivo, se realiza generalmente con rolos que aplastan y cortan el estrato arbustivo para incrementar la oferta forrajera y favorecer el tránsito de los animales y su acceso al pasto (Kunst et al. 2016).

El funcionamiento de los sistemas silvopastoriles viene siendo estudiado desde 1990 por la Estación Experimental Agropecuaria de Santiago del Estero del INTA y la Universidad Nacional de Santiago del Estero. A partir de estos estudios, actualmente se recomienda aplicar un tratamiento denominado “rolado selectivo de baja intensidad” (RBI) (Kunst et al. 2008). Su utilización genera las condiciones adecuadas para la producción ganadera y forestal, causando el menor daño posible a la estructura del bosque original (Kunst et al. 2016). Además de su menor costo, el desarbustado ofrece beneficios adicionales respecto del desmonte total para la producción ganadera, dado que la cobertura de árboles brinda sombra para el ganado, morigerando el efecto de temperaturas extremas sobre el crecimiento y la calidad de la pastura y aporta mantillo para la cobertura del suelo y el ciclado de nutrientes, además de otros servicios ecosistémicos asociados a la cobertura arbórea (Radrizzani y Renolfi, 2004).

Plan de Manejo del bosque con ganadería integrada (MBGI)

Recientemente en 2023, con el fin de contribuir a la conservación del BN y a la producción ganadera en áreas amarillas (categoría II), se firmó la resolución conjunta del Plan Nacional de MBGI, entre los Ministerios de Agricultura, Ganadería y Pesca y

de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación. Allí, se proponen algunos principios generales, criterios e indicadores para el diseño, la planificación y el monitoreo de un ecosistema (predio) donde se produzcan carne y productos forestales manteniendo el BN y sus servicios ecosistémicos y el bienestar de las comunidades rurales asociadas al uso del bosque, conforme al artículo 16 de la ley de OTBN.

El Plan Nacional MBGI destaca que los 7 lineamientos técnicos son nacionales (detalles de los lineamientos en Allagia et al, 2022, Navall et al. 2020; Peri et al. 2018,2021, 2022) y precisan adecuaciones de parte de organismos provinciales que les den “sentido y operatividad a escala local”. A tal fin, recomienda organizar mesas de diálogo técnico con los sectores público y privado para presentar la propuesta y evaluar la receptividad por parte de los actores locales. Además, el Plan MBGI incluye un programa de seguimiento en sitios piloto a través de 17 indicadores de sostenibilidad (Allagia et al, 2022), con el fin de identificar los desvíos existentes respecto de lo planificado y ajustar los objetivos particulares, las estrategias y los parámetros de intervención para mejorar los resultados de la ejecución en un planteo de manejo adaptativo. El monitoreo de los indicadores de sostenibilidad sumará una tarea adicional con un costo extra, pero brindará capacidad de un manejo adaptativo y posicionará a la producción ganadera en las exportaciones a Europa. Un nuevo Reglamento de la Unión Europea (UE 2023/1115) establece que obligatoriamente las empresas que deseen colocar en el mercado europeo soja, carne vacuna, y madera, deberán demostrar que no provienen de tierras desmontadas posteriormente al 31 de diciembre de 2020 y acorde a un sistema de trazabilidad sólido y auditable.

En síntesis, los SSP en áreas boscosas se han difundido como una alternativa válida para la producción ganadera en la región del Chaco semiárido. El INTA aportó la propuesta de manejo de RBI que permite incrementar la producción forrajera y ganadera

manteniendo gran parte de los servicios ecosistémicos del BN y potencialmente producir carne con balances neutros de carbono (Radrizzani, 2022). El plan MBGI es una propuesta innovadora, pero que aborda importantes desafíos tecnológicos, como el control del renoval y la conservación del BN, la alta dependencia de una sola especie de pasto (Gatton panic), y el riesgo de incendios. Para superar estos desafíos, es necesario reforzar la vinculación público-privada y seguir sumando innovaciones tecnológicas al diseño y manejo de los SSP en BN.

Manejo del Fuego: contexto y normativa actual

En el año 1996, en el contexto de una problemática de fuego ya extensa, diversa y creciente en el país, se instrumentó el denominado “Plan Nacional de Manejo del Fuego (PNMF)”, sistema creado para ser integrado por la Nación, las provincias y la Administración de Parques Nacionales. Este Sistema se consolidó bajo el nombre de “Sistema Federal de Manejo del Fuego (SFMF)”, creado por Ley 26.815, promulgada en el año 2013, de la cual el MAyDS es autoridad de aplicación en lo relacionado al monitoreo del peligro de incendios, la emisión de alertas y prevención.

Más recientemente, en diciembre del 2020, se promulgó la Ley 27604, modificando la Ley 26.815 de manejo del fuego, con el objeto de proteger los ecosistemas de los incendios accidentales o intencionales, frente a prácticas especulativas que tengan como objeto el avance de la agricultura, el desarrollo inmobiliario o cualquier otra actividad especulativa. Esta nueva Ley, que surgió en un año en el que se dieron numerosos focos de incendio en el país, siendo resonantes los casos del Delta del Paraná (con más de 8000 focos) y los de las Provincias de Córdoba y Corrientes. En este contexto, de alta peligrosidad y emergencia, se sancionó una norma sobre un tema que, si bien es necesario regular, no deja de ser complejo y sería importante revisar en algunos aspectos.

La nueva normativa establece una serie de prohibiciones como el cambio de uso en el suelo, y el loteo de terrenos incendiados por un plazo de 30 años en praderas, pastizales o matorrales, y 60 años en bosques, áreas protegidas y humedales. Un aspecto central es que la ley se ha dictado bajo el prejuicio que todas las quemas son intencionales. En este sentido, con relación a la responsabilidad de los incendios, no diferencia aquellos naturales de los causados por el hombre, ya sea de manera intencional o accidental. Castiga a aquel que aun habiendo padecido las pérdidas y daños de un incendio -que se haya generado por causas naturales, o de forma intencional por un tercero que le es ajeno-, deba cargar además con el impedimento de disponer de su propiedad por muchos años.

Por lo tanto, el marco normativo actual impide cualquier tipo de discusión sobre “manejo del fuego”, ya que no contempla que la quema de pastizales, arbustales o de rastrojos en lotes agrícolas constituye una práctica habitual, que se encuentra regulada por ley (quemas controladas y prescriptas) y es una herramienta utilizada para eliminar vegetación seca o reducir la carga de material combustible, en el ámbito de la producción rural. No obstante, para su uso se requieren autorizaciones previas conforme establece la normativa de cada jurisdicción. Inclusive, la administración de Parques Nacionales por Resolución 486/03 permite las quemas prescriptas en el ámbito de su jurisdicción con el objetivo de manejo y planificación de áreas protegidas.

Oportunidades de mejora

Una revisión futura de esta Ley sería una oportunidad para corregir lo mencionado anteriormente y buscar soluciones reales a una problemática que preocupa. Para evitar incendios el objetivo de la ley debiera estar puesto en reforzar las políticas y acciones vinculadas al manejo del fuego: la prevención, detección temprana

na, el accionar rápido y todas las medidas de supresión si el incendio avanzase.

Paralelamente, la implementación de programas de promoción e incentivos para el reemplazo del uso del fuego por métodos mecánicos (rolado y desmalezado) en áreas de pastizales de ganadería extensiva, pueden disminuir focos de incendio no deseados, mejorar el manejo del pasto, la cobertura del suelo, e indirectamente el balance del carbono del suelo. Esto implica que el reemplazo del fuego en muchos casos daría lugar a disminución de emisiones por quema de residuos y captura de carbono en el suelo o en subproductos de origen vegetal. El corte y disposición de material vegetal que habitualmente se quema, puede ser insumo para producir biocombustible, reemplazando combustible fósil. Otro destino potencial para residuos vegetales es la fabricación de biocarbón, conocido como Biochar, utilizable como enmienda en suelos de cultivos intensivos y semi-intensivos (Samaniego et al., 2021). El principal efecto de esta enmienda es sobre algunas propiedades físicas del suelo y su productividad general, siendo por tanto muy eficiente en la recuperación de suelos degradados. Si bien sus usos y beneficios son muy amplios, existe muy poca experiencia y estudios en Argentina (Milesi Delaye et al., 2020; Milesi Delaye et al., 2015).

Otro aspecto de mejora se relaciona con la necesidad de entender las condiciones de riesgo o peligro que se presentan en un determinado territorio, entender dónde, cuándo y cómo ocurren los incendios, y posteriormente entender qué superficie ocupan y qué daños producen. En este sentido es importante destacar el Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación (SAR-TIV) creado en 2012, entre el INTA y la CONAE (Mari et al., 2012). Actualmente, las soluciones que buscan resolver problemas relacionados a la gestión integral de incendios dependen en gran medida del éxito que se logre en cuanto a la rápida disponibilidad

de datos, su integración con diversas fuentes y en última instancia la disponibilidad y la utilidad que le den los usuarios finales.

Identificación de barreras para el desarrollo forestal y ganadero

Existen estudios realizados en el país que identifican “barreras” para el desarrollo de la ganadería y de la actividad forestal, tanto en bosques implantados como en BN. Estas barreras pueden clasificarse en: políticas, macro-económicas, técnicas, financieras, legales e institucionales (Fundación Torcuato di Tella, 2020). Ambas actividades, la forestal y la ganadera, implican ciclos productivos de largo plazo que requieren para su desarrollo políticas claras que aseguren un marco jurídico, impositivo y crediticio estable y previsible.

En el ámbito forestal, la Argentina cuenta con un Plan Estratégico Forestal y Foresto Industrial al 2030 que detalla las barreras y las estrategias necesarias para su desarrollo (Mesa de Competitividad Foresto-Industrial. 2019). Asimismo, en Peri et al., (2021b), se detallan también las barreras y estrategias para mejorar la implementación del manejo sostenible en BN.

En cuanto a la ganadería los estudios de Mitigación de la Tercera Comunicación Nacional de GEI de la Republica Argentina (SAyDS, 2015) y un estudio previo (PNUMA-Riso Centre, 2012) listan la barreras y necesidades tecnológicas para su desarrollo. Más recientemente, un relevamiento realizado por la Fundación Torcuato Di Tella (2023) consultó a 136 actores de la cadena ganadera de la Argentina, sobre la factibilidad de la expansión de sistemas productivos silvo-pastoriles, cambios tecnológicos que limiten el uso de fuego en sistemas de pastoreo y secuestro de carbono en tierras de pastoreo. Tanto técnicos como productores fueron en su mayoría optimistas y ven estas cuestiones como una oportunidad y un camino a recorrer en los próximos años. No obstante, identificaron también que la educación y la infraestructura (falta de

conectividad, caminos, acceso a escuelas, y sistemas de salud) son un impedimento para el arraigo, tecnificación y el desarrollo de estas actividades en gran parte del interior del país.

Referencias

- Alaggia, F., Cabello, M. J., Carranza, C., Cavallero, L., Daniele, G., Erro, M., Ledesma, L., López, D. R., Mussat, E., Navall, M., Peri, P. L., Rusch, V., Sabatini, A., Saravia, J. J., Uribe Echevarría, J. & Volante, J.. (2019). Manual de Indicadores para Monitoreo de Planes Prediales para el Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) Región Parque Chaqueño. Pp. 84 in C. Carranza, P. L. Peri and M. Navall (eds.). Editorial INTA, Buenos Aires, Argentina
- Ariño, N, Miazzo, D., Pisani Clar, N. (2020) . Empleo en las cadenas agroalimentarias. Fundación FADA. disponible en: <https://bit.ly/3NoAJLH>
- Boletín Oficial de la República Argentina. Ley 26815. Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-26815-207401> Acceso en mayo 2023
- Boletín Oficial de la República Argentina. Ley 27604 Disponible en <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-27604-345627/texto> Acceso en mayo 2023
- FARN (2020). Posición para frenar los desmontes en Argentina: Propuestas para mejorar la implementación de la Ley 26.331 de Bosques Nativos. Obtenido de: <https://farn.org.ar/wp-content/uploads/2020/12/Propuestas-para-mejorar-la-implementacion-de-la-Ley-26331.pdf> Acceso en mayo 2023
- Fumagalli, A., Kunst, C. & Pérez, H. (1997). Intensificación de la producción de carne en el NOA. En: Memoria del 1er. Congre-

- so Nacional de Producción Intensiva de Carne. INTA - Forum Argentino de Forrajes. Buenos Aires, pp 53-61.
- Fundación Torcuato di Tella. (2020). Identification of regulatory, financial, economic, and technical barriers to implementation of NDC mitigation actions - Deep Decarbonization Latin America Project- Argentina Disponible en : <https://descarboniz.ar/resultados-del-proye/identificacion-de-barreras-regulatorias-financieras-economicas-y-tecnicas-a-la-implementacion-de-las-medidas-de-mitigacion-de-las-ndc-2/> Acceso en mayo 2023
- Fundación Torcuato di Tella. (2023) Desafíos del Carbono en suelos ganaderos de Argentina: Notas sobre la percepción de actores. Disponible en: <https://descarboniz.ar/wp-content/uploads/2023/04/Challenges-in-cattle-farmers-SOC-in-Argentina-vfdocx.pdf> Acceso en mayo 2023.
- Green Climate Fund. (2020). Funding Proposal: FP142 Argentina REDD plus RBP for results period 2014-2016.
- Kunst, C., Ledesma, R., Navall, M. (2008) Rolado selectivo de baja intensidad. INTA EEA Santiago del Estero, 140 pp.
- Kunst C, Navall M, Ledesma R, Siberman J, Anríquez A, Coria D, Bravo S, Gómez A, Albanesi A, Grasso D, Dominguez Nuñez J A, Gonzáles A, Tomsic P, Godoy J (2016) Silvopastoral Systems in the Western Chaco Region, Argentina. In Peri P, Dube F, Varella A (Eds) Silvopastoral Systems in Southern South America. Advances in Agroforestry vol 11. Springer, Cham, pp 63-87.
- Lódola, A., Brigo, R. & Morra, F. (2010), “Mapa de cadenas agroalimentarias de Argentina”, Cambios estructurales en las actividades agropecuarias. De lo primario a las cadenas globales de valor, Documento de Proyecto, N° 350 (LC/W.350), Santiago, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)
- Mari, N., Scavuzzo M.C, Morelli F. (2012) Diseño de un Sistema de Alerta y Respuesta Temprana a Incendios de Vegetación.

- Congreso Argentino de Teledetección. UNC, Córdoba. Septiembre 2012.
- MAyDS. 2021. Cuarto Informe Bienal de Actualización de Argentina a la Convención Marco de las Naciones Unidas para el Cambio Climático (CMNUCC).
- MAyDS, 2021 - Estado de implementación de la Ley 26.331 de Presupuestos Mínimos de Protección Ambiental de los Bosques Nativos Informe diciembre 2021. Disponible en :https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2020/10/2021_informe_estado_implementacion.pdf%20. Acceso en mayo 2023
- Mesa de Competitividad Foresto-Industrial. 2019. Plan Estratégico Forestal y Foresto-Industrial Argentina .2030. D 178 pp. Disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2021/04/plan_estrategico_foresto_industrial_2030.pdf Acceso Mayo 2023.
- Milesi Delave, L.A., Bergier, I., Souza Silva, A. P., da Silva Carvalho Filho, M. A., Dieter Sautter, K., Guiotoku, M. & Branco de Freitas Maia, C.M. (2015). Miscanthus x giganteus and Aspidosperma quebracho-blanco as feedstock sources for biochar production in Argentina. Encontro Brasileiro de substancias húmicas, 11., 2015, São Carlos.
- Milesi Delaye, L. A., Ullé, J.A. & Andriulo, A.E. (2020). Aplicación de biochar en un suelo degradado bajo producción de batata: Efecto sobre propiedades edáficas. Ciencia del suelo, 38(1).162-173.
- Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación (SAyDS). (2019). Segundo inventario nacional de bosques nativos (INBN2): Manual de campo. SAyDS, Buenos Aires, Argentina. 88 Pp.
- Mónaco, M. H., Peri, P. L., Medina, F. A., Colomb, H. P., Rosales, V. A., Berón, F., Manghi, E. , Miño, M. L. Bono, J. , Silva, J. R. , González Kehler, J. J. , Presat, F., Gacia Collazo, A. , Navall, M.,

- Carranza, C., López, D. & Gómez Campero, G. (2020). Causas e impactos de la deforestación de los bosques nativos de Argentina y propuestas de desarrollo alternativas. MAYS-INTA. 60pp
- Nasca, J. A, Feldkamp, C. R., Arroquy, J. I., Colombatto, D. (2015). Efficiency and stability in subtropical beef cattle grazing systems in the northwest of Argentina. *Agricultural Systems*, 133, pp 85–96.
- Navall, M., Tomsic, P., Kunst, C., Nellem, M., Peri, P.L., Rosales, V., Ledesma, R., Salomón, N., Monedero, M. (2020) Evaluación preliminar de áreas piloto para el Manejo de Bosque con Ganadería Integrada (MBGI) en Santiago del Estero. *Actas 3° Congreso Internacional del Gran Chaco Americano*. Santiago del Estero, 6 pp., 10 al 13 de noviembre 2020.
- Peri, P. L. (2012) Implementación, manejo y producción en Sistemas Silvopastoriles: enfoque de escalas en la aplicación del conocimiento aplicado. En: *Actas del 2° Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*. INTA Ediciones, Santiago del Estero, pp 8-21.
- Peri P.L., Fermani, S., Mónaco, M., Rosales, V., Diaz, F., Collado, L., Torres, S.C., Ceballos, E., Soupet, J., Perdomo, M., Soto Castelló, A., Antequera, S., Navall, M., Tomanek, E., Colomb, H., Borrás, M. (2018). Manejo de bosques con ganadería integrada (MBGI) en Argentina. *Actas IV Congreso Nacional de Sistemas Silvopastoriles*, pp. 724-748. Ediciones INTA, Villa La Angostura, Neuquén. 31 de octubre-2 de noviembre 2018.
- Peri, P.L., Gaitán, J., Mastrangelo, M., Noretto, M., Villagra, P.E., Balducci, E., Pinazo, M., Ecclesia, R.P., Von Wallis, A., Villarino, S., Gonzalez Polo, M., Manrique, S., Meglioli, P.A., Fernández, P., Aravena, M.C., Tenti, L., Mónaco, M., Chaves, J.E., Medina, A., Gasparri, I., Barral, M.P., Von Müller, A., Pahr, N.M., Morucci, M., Cellini, J.M., Alvarez, L., Colomb, H., La Manna, L.,

- Barbaro, S., Blundo, C., Sirimarco, X., Zalazar, G., Kowaljew, E., Martínez Pastur, G. (2021). Reporte Nacional: Carbono almacenado en suelos en los bosques nativos de diferentes ecorregiones del país. Proyecto de Apoyo para la Preparación de REDD + en el marco del Fondo Cooperativo para el Carbono de los Bosques. Dirección de Bosques del MAgS.
- Peri, P.L., Martínez Pastur, G., Schlichter, T. (2021 b) Uso sostenible del bosque: Aportes desde la Silvicultura Argentina, 889 pp. Ediciones MAgS, Buenos Aires. 1ra ed. 889 pp. Peri, P. L., Rosas, Y. M., López, D. R., Lencinas, M. V., Cavallero, L., & Martínez Pastur, G. (2022). Marco conceptual para definir estrategias de manejo en sistemas silvopastoriles para los bosques nativos. *Ecología Austral*, 32(2bis), 749–766. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.2.1.1872>
- Peri P.L., Rusch V., Von Muller, A., Varela, S., Quinteros, P., Martínez Pastur G. (2021c) Manual de Indicadores para Monitoreo de Planes Prediales de Manejo de Bosque con Ganadería Integrada – MBGI Región Patagónica. 167 pp. 1ra ed. Editorial INTA-MAgS.
- Peri, P.L., Rosas, Y.M., Lopez, D.R., Lencinas, M.V., Cavallero, L., Martinez Pastur, G. (2022) Conceptual framework to define management strategies for silvopastoral systems in native forests. *Ecología Austral* 32: 749-766.
- Peri P.L., Mónaco M., Navall M., Colomb H., Gómez Campero G., MEDINA A., ROSALES V. (2022 b) Manejo de Bosques con Ganadería Integrada (MBGI) en Argentina. *Revista del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA)* 261: 30-40.
- PNUMA-Risoe Centre-AACREA (2012). Reporte IV: “Tecnologías para optimizar el uso del Nitrógeno en las actividades agrícola-ganaderas”. 524 pp. En “Evaluación de Necesidades Tecnológicas ante el Cambio Climático. Informe Final sobre tec-

- nologías de Mitigación”. MINCyT – PNUMA –Risoe Centre. Pp. 386-508. Disponible en <https://tech-action.unepccc.org/wp-content/uploads/sites/2/2013/12/informeent-mitigacion-argentina-13.pdf> Acceso en mayo 2023
- Radrizzani A. & Renolfi, R. (2004) La importancia de los árboles en la sustentabilidad de la ganadería del Chaco Semiárido. Informe Técnico INTA EEA Sgo. del Estero, 4 pp.
- Radrizzani, A. (2022). Sistemas silvopastoriles y manejo de bosque con ganadería integrada en la región del Chaco semiárido. En: Ganadería Bovina, presente y futuro. Revista IDIA 21, Pag 8-16. Ediciones INTA.
- SAyDS (2015). Tercera Comunicación Nacional del Gobierno de la República Argentina a las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático 282 pp. <https://www.argentina.gob.ar/ambiente/cambio-climatico/tercera-comunicacion>
- Samaniego, J.L., Schmidt, K., Carlino, H., Caratori, L., Carlino, M., Gogorza, A., Rodriguez Vagaría, A.& Vázquez Amábile, G. (2021). “Current understanding of the potential impact of Carbon Dioxide Removal approaches on the Sustainable Development Goals in selected countries in Latin America and the Caribbean. Summary for policy makers”, Carnegie Climate Governance Initiative (C2G)/ Economic Commission for Latin America and the Caribbean (ECLAC), March 2021. Disponible en <https://hdl.handle.net/11362/47110>
- SENASA. (2019) - Dirección Nacional de Sanidad Animal Existencias de bovinos por provincia y partido / departamento, clasificadas en categorías. Sitio acceso: <https://datos.magyp.gob.ar/dataset/senasa-existencias-bovinas>

Capítulo 9

Conservación de la biodiversidad: El problema, las implicancias, las posibles estrategias y su relación con los sistemas agrícolas

Jorge V. Crisci, Claudio Bertonatti y Liliana Katinas

Introducción

Se define a la biodiversidad como la variedad (interespecífica) y variabilidad (intraespecífica) de los seres vivos y de los ecosistemas que éstos integran. Los componentes de la diversidad biológica de mayor interés para la conservación, se organizan en tres niveles: el de los genes, que constituyen las bases moleculares de la herencia; el de las especies, que son conjuntos de organismos afines capaces de reproducirse entre sí y el de los ecosistemas, que son complejos funcionales formados por los organismos y el medio físico en el que habitan (Crisci, 2001).

La cantidad de especies es la herramienta científica más utilizada para medir la biodiversidad y, como tal, la primera para definir políticas de conservación de la misma. Por ello, resulta imprescindible conocer las especies que habitan el planeta y ubicarlas en un marco clasificatorio fundamentado en hipótesis científicas (Pimm, 2021).

La ciencia ha descubierto y nombrado 1.837.526 especies (Roskov et al., 2019). La cantidad de especies descritas por grupo se ven en la Figura 1. Lamentablemente, de la mayoría de las especies descritas sólo se conocen unos pocos datos de su morfología y de su distribución geográfica.

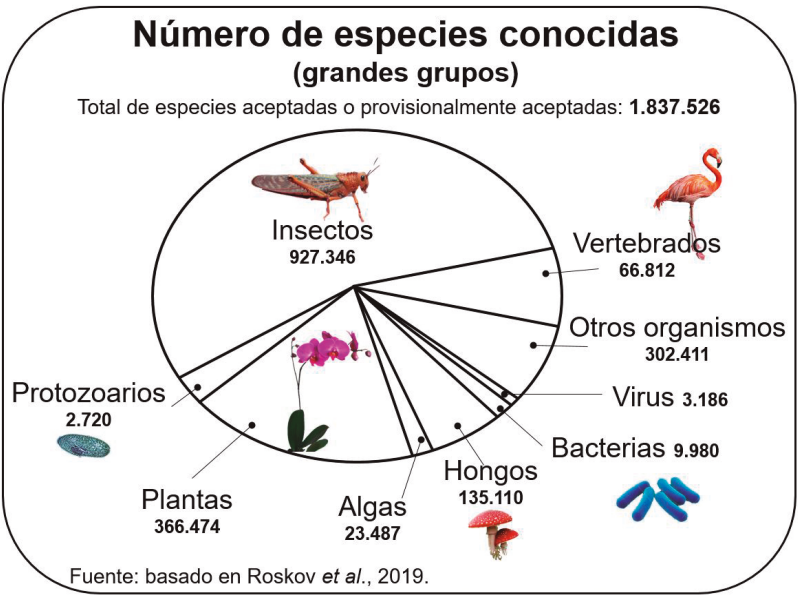


Figura 1: Esquema que muestra el número de especies conocidas de los grandes grupos de seres vivos.

Pero no todas las especies que existen están descritas científicamente. Es más, la mayoría de los biólogos coincide en suponer que los números citados sólo indican una pequeña fracción del total de especies que pueblan la Tierra. Por distintos métodos se ha intentado estimar la cifra real de éstas y se ha arribado a distintos valores que oscilan entre 3.000.000 y 13.000.000 de especies de acuerdo a los distintos autores (Figura 2).

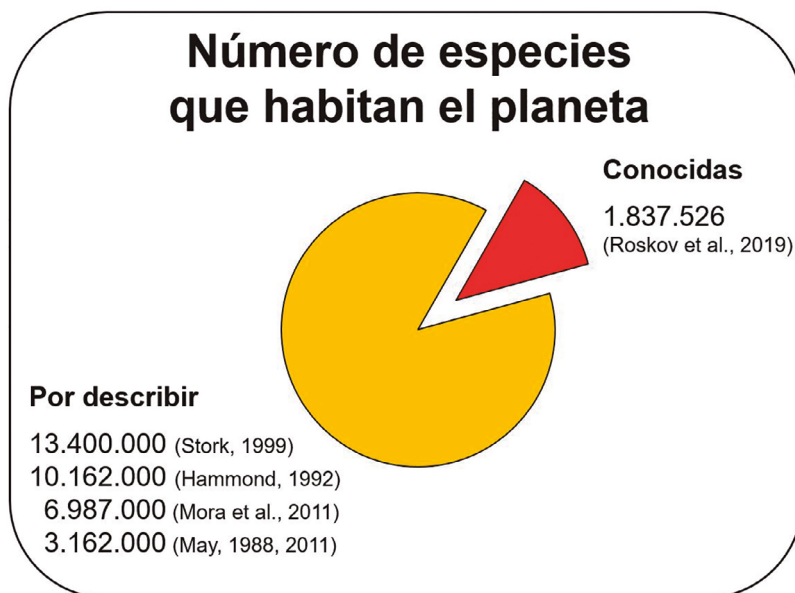


Figura 2: Esquema que muestra el número de especies conocidas en los grandes grupos de seres vivos según Roskov et al. (2019) y las que aún faltaría describir según distintos autores.

El número aproximado de especies por grandes grupos descriptas para la Argentina pueden verse en la Tabla 1. De las 3.303 especies de vertebrados de la Argentina, el 98,1% del total son especies autóctonas (el resto, introducidas), contando con un 15,2% (492 especies) de endemismos (exclusivas de un área, en este caso de nuestro país) (Bauni et al., 2021, 2022). El país, además, cuenta con poco más de 10.000 especies de plantas superiores, de las cuales 1750 (17,5%) son endémicas, 7506 son nativas de su territorio, y 984 son especies introducidas (Zuloaga, Belgrano & Zanotti, 2019).

Tabla 1: Número de especies de vertebrados (Bauni et al., 2022) y plantas superiores (Zuloaga, Belgrano & Zanotti, 2019) descriptas científicamente para la Argentina.

Grupos	Número de especies descriptas
Peces marinos	574
Peces de agua dulce	561
Anfibios	177
Reptiles	450
Aves	1.113
Mamíferos	428
Total de vertebrados	3.303
Plantas superiores	10.221

Muchas de las especies de nuestro planeta (descriptas o aquellas que no son todavía conocidas para la ciencia) se están extinguiendo por causas humanas, a una tasa que supera largamente a la tasa natural de extinción. La extinción o desaparición definitiva de una especie es un fenómeno natural que ocurre y ha ocurrido con frecuencia en la historia de la vida. En la historia del planeta se han registrado cinco episodios de extinciones masivas; en el último de ellos, hace 65 millones de años, desaparecieron, entre otras muchas especies, los dinosaurios. Esta nueva extinción por actividad humana ha sido considerada como la sexta extinción masiva en la historia de la vida (Ceballos, Ehrlich & Dirzo, 2017).

El objetivo de esta contribución es plantear el problema de la pérdida de la biodiversidad, sus implicancias y las posibles estrategias desde el punto de vista científico, político, educativo y de las prácticas agrícolas para evitar las consecuencias de esta pérdida.

El problema

La extinción

La tasa natural de extinción para unas 10 millones de especies es de cuatro especies por año. En las últimas décadas del siglo XX y principios del siglo XXI, numerosas especies de plantas y animales se han extinguido a un ritmo tal que se puede decir que estamos frente a una extinción masiva como producto de la actividad humana (Raven, 2002).

Como prueba de que vivimos el sexto episodio de extinciones masivas tenemos las extinciones documentadas, con un sesgo de información que pondera los grandes vertebrados. Aún con todos los vacíos y subestimaciones, a nivel mundial, la lista de especies de vertebrados extintas por causas humanas asciende a más de 900, a las que deben sumarse cerca de 100 extintas en estado silvestre (IUCN, 2023).

Un reciente informe de IPBES (2019) plantea el problema con claridad. Las acciones humanas amenazan a más especies con la extinción global ahora más que nunca. Un promedio de alrededor del 25 por ciento de las especies en los grupos de animales y plantas están amenazados, lo que sugiere que alrededor de 1 millón de especies ya se enfrentan a la extinción, a menos que se tomen medidas para reducir la pérdida de la biodiversidad. Sin tal acción, habrá una mayor aceleración en la tasa global de extinción de especies, que ya es al menos decenas a cientos de veces mayor que el promedio de los últimos 10 millones de años.

Cabe aclarar que las evaluaciones sobre el estado de conservación de la biodiversidad suelen subestimar seriamente el número real de especies amenazadas de extinción, especialmente para grupos poco estudiados como insectos e invertebrados marinos.

Las causas de la pérdida de la biodiversidad por la actividad humana pueden dividirse en directas e indirectas (Soulé, 1991;

Crisci, 2006). Las causas directas de la pérdida de la biodiversidad son: la fragmentación y eventual pérdida del hábitat de numerosas especies; la sobreexplotación de los recursos naturales; la introducción de especies exóticas invasoras; la contaminación del agua, del suelo y de la atmósfera; y el cambio del clima mundial.

Las causas indirectas de la pérdida de especies son: el crecimiento de la población; las políticas, sistemas económicos y jurídicos que no atribuyen su debido valor al medio ambiente y a sus recursos vivientes; la evaluación de políticas con una escala de tiempo inadecuada (esperando resultados a corto plazo); la exclusión social debida a: la pobreza, la desigualdad, la vulnerabilidad y la marginación; y la insuficiencia de conocimientos científicos y errores en la aplicación de los mismos.

Nunca antes, en la historia de la vida sobre la Tierra, la biodiversidad enfrentó tal variedad e intensidad de amenazas provocadas, directa o indirectamente, por una de sus especies (la humana).

La situación en la Argentina: Los vertebrados y las plantas como ejemplo

De las 3.303 especies de vertebrados de la Argentina, 577 (17,8%) están amenazadas, pero hay que resaltar que el porcentaje es mucho más elevado en las endémicas: 29,3%, vale decir, 144 especies (Bauni et al., 2022). En la Tabla 2 pueden observarse los distintos grados de amenaza de las especies de vertebrados de la Argentina, de acuerdo a los criterios establecidos por la International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2023).

Tabla 2: Número de especies amenazadas de vertebrados de la Argentina (Bauni et al., 2022).

Grupo	EX	EXR	EXR?	CR	EN	VU	NT	LC	NA	DD	NE	NAP	SPP A*	SPP EA**
Peces marinos	–	–	–	17	17	40	16	300	–	35	143	2	74 (13.0 %)	0 (0.0%)
Peces de agua dulce	–	–	–	3	2	22	194	115	12	31	160	–	27 (5.0%)	11 (11.5%)
Anfibios	–	–	–	–	18	29	–	–	100	20	9	–	47 (26.7%)	33 (63.5%)
Reptiles	–	–	–	–	38	95	–	–	218	49	46	–	133 (29.8%)	56 (25.9%)
Aves	2	–	3	18	90	90	–	790	–	23	86	–	198 (18.0%)	12 (57.1%)
Mamíferos	3	2	–	7	26	65	40	175	–	72	6	11	98 (24.1%)	32 (36.8%)
Total	5	2	3	45	191	341	250	1380	330	230	450	13	577 (17.8%)	144 (29.3%)

Referencias: EX, Extinta; EXR, Regionalmente Extinta; EXR?, posiblemente Regionalmente Extinta; CR, En Peligro Crítico; EN, En Peligro; VU, Vulnerable; NT, Próxima a Amenazada; LC, Preocupación menor; NA, No Amenazada; DD, Deficiente Información; NE, No Evaluada; NAP, No Aplica; SPP A, Especies amenazadas (categorizadas como CR, EN y VU); SPP EA, especies endémicas amenazadas (categorizadas como CR, EN y VU). * Los porcentajes de las especies amenazadas, incluyendo las endémicas fueron calculados sobre el total de especies autóctonas de cada grupo.

El estatus de conservación de la mayoría de las 10.221 especies de plantas superiores de la Argentina (Zuloaga, Belgrano & Zanotti, 2019) no está evaluado, con excepción de las endémicas. De las 1.683 plantas endémicas del país, 800 están amenazadas (Salariato, Zanotti & Zuloaga, 2021). Desde 2018 el área de Biodiversidad de la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable y el Instituto de Botánica Darwinion (dependiente del Consejo

Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, CONICET), iniciaron un proceso para categorizar el estado de conservación de todas las plantas superiores conocidas en el país. Hubo instancias anteriores de categorización como el proyecto PlanEAR (Dr. Carlos Villamil, Universidad Nacional del Sur, comunicación personal), una base de datos sobre plantas argentinas, pensada como una fuente de información preliminar sobre el estado de conservación de las especies que constituyen la flora del país. De acuerdo a esta base de datos, cerca de 1800 especies de plantas superiores se encontraban bajo algún rango de amenaza.

Implicancias

La biodiversidad tiene, al menos, seis valores: económico, estético, científico, ético, socio-cultural y biológico (Crisci, 2006). Valores que reflejan lo esencial que es la biodiversidad para la supervivencia de la especie humana.

La dimensión más fácil de visualizar cuando se habla de la importancia de la diversidad biológica es la económica o productiva. Los principales usos que el ser humano hace de las especies animales y vegetales están relacionados con su alimentación, vestimenta, producción de energía y distintos tipos de materiales. De acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca del 75% de la población mundial depende casi exclusivamente del uso de las plantas para el cuidado de la salud (Desmarchelier, 2012).

Existe, además, una dimensión estética de la diversidad biológica. Si ésta no se preserva, la humanidad habrá perdido la posibilidad de apreciar y disfrutar de una gran parte de los resultados de millones de años de evolución biológica. El gran desarrollo del turismo que busca áreas naturales como destino a nivel mundial lo demuestra.

Por otra parte, si los organismos y los ecosistemas que ellos integran son destruidos o profundamente alterados, el conocimiento

científico quedará obligadamente incompleto y, por lo tanto, no se tendrán elementos suficientes para hacer un uso racional de los recursos naturales y para manejar los ecosistemas agrícolas.

La humanidad tiene además un compromiso ético con la diversidad biológica por su condición de especie racional, lo cual implica ser custodio de la misma. A ello se agrega el compromiso con las generaciones humanas futuras, de preservar los recursos naturales mediante un desarrollo sustentable.

La biodiversidad posee un valor socio-cultural, ya que existe una significativa cantidad de animales y plantas silvestres que han inspirado canciones, poesías, mitos, leyendas, supersticiones, cuentos y relatos populares que forman parte de la identidad de los pueblos. Vale decir que los paisajes silvestres contextualizan nuestra historia y escenarios que habitaron las distintas sociedades, tanto del pasado como del presente, enriqueciendo sus saberes populares.

Finalmente, la biodiversidad tiene un valor biológico para los seres humanos. Edward O. Wilson (1984) publicó la hipótesis de la Biofilia que provee una comprensión de la necesidad biológica innata de los seres humanos a relacionarse con la vida y los procesos naturales. Para Wilson: “La necesidad humana de la naturaleza está vinculada no sólo a la explotación material del medio ambiente, sino también a la influencia de la naturaleza en nuestro bienestar emocional, estético, cognitivo e incluso en el desarrollo espiritual.”

La diversidad biológica también ofrece una amplia oferta de beneficios materiales e inmateriales y de bienes y servicios ecosistémicos (Bertonatti, 2017). Los bienes que brindan los ecosistemas son sus componentes, traducidos en productos tangibles, como: agua potable, ya sea para consumo o riego; plantas, desde las comestibles, las medicinales o las que tienen propiedades textiles, tintóreas, industriales, hasta la madera, leña y carbón; animales, que

son aprovechados por su carne, cuero, piel, plumas, medicinas, transporte; y suelos y minerales.

Los servicios eco-sistémicos, en cambio, son beneficios intangibles, producto de las funciones que brindan las áreas silvestres, como:

- Protección y regulación de las cuencas hídricas, permitiendo captar o retener agua, controlar inundaciones, filtrar los sedimentos.
- Protección del suelo, fijando nutrientes y ofreciendo su fertilidad.
- Protección del aire, generando oxígeno y fijando Carbono.
- Protección de la producción biológica, para que las poblaciones de hongos, plantas y animales silvestres puedan reproducirse y ofrecer bienes a las personas, además del caso de las especies polinizadoras que tanto benefician a los cultivos de todo tipo.

El valor económico de estos servicios o contribuciones de los ecosistemas silvestres fue evaluado en 2018 en más de 24.000 billones de dólares por año para el continente americano por un grupo de científicos nucleados en torno al panel IPBES, siendo equivalente al PBI de todos los países de América (IPBES, 2019). Además de su extraordinario valor económico, estos servicios eco-sistémicos son irremplazables. El hecho que estos servicios sean silenciosos, invisibles, cotidianos y gratuitos no favorece la valoración pública y política. De hecho, no faltan decisores que consideran a los ecosistemas silvestres como áreas improductivas.

Estrategias

Las estrategias para la conservación de la biodiversidad pueden abordarse desde: a) la ciencia; b) la política; c) la educación; y d) las prácticas agrícolas.

Ciencia

Desde la ciencia, existen distintas disciplinas como la Sistemática, la Ecología y la Biogeografía que pueden contribuir en ese esfuerzo. Es obvio que para evitar la extinción de una especie, el primer paso es conocerla científicamente incluyendo en ese conocimiento: ubicación sistemática, distribución geográfica, ecológica, y vulnerabilidad a los cambios en su ambiente. La Sistemática biológica es la que provee esta información. Por lo tanto, es imprescindible estimular estas investigaciones, sobre todo teniendo en cuenta que sólo conocemos científicamente alrededor de un 15% de las especies (Wilson, 2003). El Impedimento Taxonómico (“taxonomic impediment”) es el concepto utilizado para definir los errores y deficiencias en nuestro conocimiento sobre el total de las especies que existen, la falta de sistemáticos y el impacto que esta situación causa en nuestra capacidad para conservar y utilizar la biodiversidad (Crisci, 2006).

En los sistemas agrícolas, los elementos conspicuos, a saber, los árboles, las plantas de cultivo y los animales de granja, forman interacciones complejas con muchos organismos menos conspicuos (Rossman & Miller, 1996). Estos organismos menos conspicuos, como insectos, hongos, nematodos y bacterias, pueden ser beneficiosos, incluso esenciales, o pueden ser completamente devastadores y causar graves daños. Nuestro conocimiento actual de la sistemática de estos organismos menos conspicuos es limitado. A algunos grupos les falta incluso la comprensión sistemática más elemental: un inventario, una lista de verificación, un medio de identificación. Por ello, la agricultura se beneficia de la información que la Sistemática provee sobre organismos que afectan a los agroecosistemas. Ejemplos de ello es el control de organismos plaga y patógenos agrícolas, la recolección y la organización y el uso de germoplasma. A estos ejemplos se suma el control de especies invasoras.

Asimismo, existe un reconocimiento de la necesidad de intensificar el estudio de la biodiversidad desde la Biogeografía y la Ecología,

con el objetivo de proporcionar marcos conceptuales para la conservación en ambientes modificados por la actividad humana. Este es el caso, por ejemplo, de: (1) la Biogeografía rural (Daily, 1997), cuyo objetivo es mejorar la hospitalidad de los sitios de agricultura a la biodiversidad; (2) la Biogeografía de la conservación (Heaney, 2004; Ladle & Whittaker, 2011), que aplica principios biogeográficos, teorías y análisis, en particular aquellos relacionados con la dinámica de distribución de los taxones individualmente y colectivamente, a problemas relativos a la conservación de la biodiversidad; (3) la Biogeografía agrícola (Katinas & Crisci, 2018; Katinas, 2022) que es la aplicación de los principios, teorías y análisis de la Biogeografía a los sistemas agrícolas, incluyendo todas las actividades humanas relacionadas con la cría o el cultivo, principalmente para proporcionar bienes y servicios; (4) la Regionalización funcional ecológica global (Liu et al., 2018) definida como una forma de guía de gestión hacia el logro de la sostenibilidad ambiental, integrando la comprensión de la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas.

Política

Cualquier intento político de conservar la biodiversidad debe comenzar por:

- Evitar los siguientes procesos: la pérdida o fragmentación del hábitat de numerosas especies; la sobreexplotación de los recursos naturales; la invasión de especies exóticas invasoras; la contaminación del agua, del suelo y de la atmósfera
- Mitigar las causas antrópicas del cambio del clima mundial.
- Tomar real conciencia de las consecuencias que se generarán por el aumento de la población humana y proyectar acciones al respecto.
- Establecer políticas, sistemas económicos y jurídicos que atribuyan su debido valor al medio ambiente y a sus recursos vivientes.

- Evaluar las políticas ambientales con una escala de tiempo de largo plazo.
- Combatir la exclusión social debido a la pobreza, la desigualdad, la vulnerabilidad y la marginación. Exclusión que se la ha asociado, con evidencia empírica, a la pérdida de la biodiversidad (Ceddia, 2020)
- Fundamentar las decisiones sobre la base de conocimientos científicos.

Por otro lado, la biología de la conservación propone diferentes sistemas de conservación, entre las que podemos mencionar cinco de ellos: (1) conservación *in situ*; (2) conservación *ex situ*; (3) restauración ecológica; (4) manejo de insumos agroquímicos en los agroecosistemas; y (5) aumento de la productividad de los sistemas agrícolas.

1) La conservación *in situ*, se refiere a aquellos sistemas de conservación basados en proteger áreas silvestres, con relativamente poca perturbación humana. Estas áreas incluyen parques nacionales, monumentos naturales, reservas de la biósfera, entre otros.

En materia de conservación *in situ*, la tendencia mundial es clara y esperanzadora: según Word Database on Protected Areas (WDPA, fuente: <https://www.protectedplanet.net/en/thematic-areas/wdpa?tab=WDPA>) existen casi de 250.000 sitios con alguna figura de protección en el mundo en 245 países. En su conjunto protegen el equivalente al 15 % de la superficie terrestre y a un 10% de los ecosistemas acuáticos.

Sin embargo, no todas las ecorregiones del mundo tienen asegurada la protección de sus muestrarios biológicos para resguardar su funcionalidad ecológica. Por eso, a fines de 2022, los países miembros de la Convención de la Diversidad Biológica (entre ellos la Argentina) acordaron la meta 30x30. Es decir, elevar a un 30% la superficie protegida de ecosistemas terrestres y acuáticos para el 2030 (fuente: <https://www.conservar30x30.org.ar>).

Según el Sistema Federal de Áreas Protegidas (SiFAP) de la Argentina, a marzo de 2023, la Argentina tenía 539 áreas naturales protegidas que representan el 15,90% de su superficie (fuente: <https://sifap.gob.ar/areas-protegidas>), es decir, suman más de 44 millones de hectáreas. Si pensamos que en 1903 sólo había una de 7.500 hectáreas, el país avanzó y mucho en esta materia.

En todos los casos, las instituciones que manejan estas áreas protegidas, comparten objetivos: conservar la biodiversidad, educar ambientalmente, generar conocimientos científicos, resguardar los bienes culturales bajo su custodia y contribuir con la recreación pública.

2) La conservación *ex situ* se refiere a los jardines botánicos, zoológicos, acuarios e instituciones similares que mantienen y propagan la vida de los organismos con fines no comerciales (educación, investigación, conservación), en un contexto altamente controlado, generalmente urbano. Los programas *ex situ* incluyen también la conservación de germoplasma mediante instalaciones de almacenamiento tales como bancos de semillas, colecciones de cultivo de tejidos y colecciones crioconservadas de gametos, cigotos y embriones (Soulé, 1991).

En el país existen al menos 50 jardines botánicos registrados en la Red Argentina de Jardines Botánicos (fuente: <https://inta.gob.ar/documentos/red-argentina-de-jardines-botanicos-rajb>) y unas 80 instituciones que manejan fauna *ex situ*, muchas de las cuales están transitando procesos de transformación para operar como centros de conservación, de ciencia y de educación ambiental (Bertonatti, 2021). Por otro lado, ya existen unas 68 mil muestras de especies vegetales que se conservan en la red de Bancos de Germoplasma del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El mantenimiento de estas colecciones de recursos genéticos de plantas es una medida estratégica para satisfacer necesidades actuales de la población humana y de las futuras generaciones (fuente: <https://inta.gob.ar/unidades/211000/banco-base-de-germoplasma>).

Las instituciones de conservación *in situ* y *ex situ* comparten objetivos. Por tal razón se hace coherentemente necesario llevar adelante una política de conservación *inter situ*, integrando esfuerzos. Es decir, de las áreas naturales protegidas con los jardines botánicos, los museos de ciencias naturales, las universidades e institutos de investigación, los centros de rescate de fauna zoológicos o ecoparques, los bancos de germoplasma, los herbarios y otras colecciones de historia natural.

3) Los proyectos de restauración ecológica consisten en el manejo intensivo de actividades destinadas a aumentar la riqueza de especies o la productividad en ecosistemas degradados (Soulé, 1991). La Red de Restauración Ecológica Argentina (REA) reúne personas e instituciones interesadas en recuperar ecosistemas degradados de nuestro país. La Red REA está organizada en nueve nodos regionales coordinados por un comité nacional (fuente: <https://redrea.com.ar>).

4) Los agroecosistemas están altamente subsidiados en términos de insumos químicos y energéticos artificiales. Esta situación exige que en el manejo de estos sistemas, se realice un análisis de la tolerancia a esos insumos químicos por parte de las especies silvestres que rodean al agroecosistema (Soulé, 1991).

5) El aumento de la eficiencia agrícola es una de las claves más importantes para minimizar la destrucción de los hábitats naturales terrestres y de agua dulce y limitar la presión sobre los recursos marinos. Existe un debate considerable sobre hasta qué punto es posible aumentar la eficiencia agrícola sin requerir un aumento neto de la tierra cultivada a escala mundial. Alcanzar este punto requeriría un crecimiento demográfico limitado, aumentos sustanciales en la productividad agrícola y un uso eficiente de la produc-

ción primaria (por ejemplo, reducción de las pérdidas posteriores a la cosecha). Los impactos negativos de la intensificación agrícola sobre la biodiversidad pueden minimizarse mediante prácticas agrícolas apropiadas. Respecto a los ambientes marinos, la regulación internacional de la pesca en aguas no territoriales y la mejora del manejo a escala local y mundial son fundamentales para evitar modificaciones generalizadas de las cadenas alimentarias marinas y el colapso de importantes sitios donde habitualmente se pesca (Leadley et al., 2010).

Finalmente, en el ámbito de la política merecen mencionarse las leyes que intentan generar una conciencia de conservación en la sociedad. Por ejemplo la sanción en el 2020 de la ley 27.592 en nuestro país, también conocida como la Ley Yolanda, que promueve la capacitación de los funcionarios de todos los organismos del Estado argentino en temas ambientales (fuente: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/lineamientos_generales_documento_de_trabajo_08-06.pdf).

Educación

Desde el punto de vista educativo, se necesita un esfuerzo enorme en el tema biodiversidad con el objeto de crear una conciencia global de los problemas que afrontamos. Sólo una sociedad educada sobre la biodiversidad puede crear las condiciones que nos lleven a un futuro sustentable. La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) ha desarrollado junto a otros organismos una nueva iniciativa global en esta dirección, que tendrá como objetivo la educación, el entrenamiento, y el desarrollo de una conciencia pública sobre el tema biodiversidad (Crisci, 2006).

Esta situación exige nuevos objetivos educacionales que contemplen la problemática de la biodiversidad (Crisci & Katinas 2011a, b; Crisci et al., 2014), como por ejemplo:

- Crear conciencia sobre la pérdida de la biodiversidad.
- Fundamentar la necesidad de aprender más acerca de la biodiversidad.
- Producir ciudadanos informados y educados sobre la biodiversidad.

Los nuevos objetivos educacionales con referencia a la biodiversidad desde el punto de vista de los estudiantes son:

- Aprender a valorar la biodiversidad y su relación con la identidad cultural.
- Aprender a tomar decisiones racionales con respecto a la biodiversidad.

Un cambio educativo que contemple estas necesidades de la sociedad y de los estudiantes debe partir del siguiente fundamento: la biodiversidad es un recurso global que necesita ser preservado y su enseñanza debe estar basada en problemas reales, que demuestren el significado de la biodiversidad para la sociedad y las personas.

Prácticas agrícolas

Está claro que la actual extinción masiva se debe principalmente a la actividad humana. Como consecuencia del surgimiento de los sistemas agrícolas industriales modernos a principios del siglo XX y que han ayudado a alimentar un aumento masivo de cuatro veces en la población humana, se han reestructurado los biomas para la agricultura, la silvicultura, y otros usos, y los patrones globales de composición y abundancia de especies, productividad primaria, hidrología de la superficie terrestre y ciclos biogeoquímicos han sido sustancialmente alterados. Así, gran parte de los biomas naturales se han ido transformando paulatinamente y en gran medida en biomas antropogénicos (Ellis & Ramankutty, 2008), es decir

en mosaicos paisajísticos heterogéneos y fragmentados, como áreas urbanas incrustadas en áreas agrícolas, bosques intercalados con tierras de cultivo y viviendas, y vegetación manejada mezclada con vegetación seminatural que ahora cubren más superficie terrestre que los ecosistemas naturales (Katinas & Crisci, 2018; Katinas, 2022).

Las prácticas agrícolas están haciendo un esfuerzo por combinar los biomas naturales y los antropogénicos de manera amigable con el medio ambiente (Katinas & Crisci, 2018). Ejemplos posibles en esta dirección son: 1) las agroecorrecciones que representan la planificación de cultivos en las ecorregiones más apropiadas según las condiciones locales de humedad y temperatura (Mruthunjaya & Saxena, 2003); 2) el intercalado entre cultivos y especies silvestres fomentando la superposición de los dos sistemas, como el ‘café de sombra’ en América Latina (Perfecto et al., 2005); 3) en nuestro país ha cobrado fuerza en los últimos años la acción de la Alianza del pastizal (fuente: <http://www.alianzadelpastizal.org/>), una iniciativa coordinada por BirdLife International que se desarrolla en el bioma de los pastizales templados pampeanos de la Argentina, Brasil, Paraguay y Uruguay.

La Alianza del pastizal surge como respuesta a la preocupación por la evidente pérdida de especies de aves, mamíferos, reptiles y anfibios de los pastizales del bioma Pampa debido al reemplazo de los pastizales por cultivos, forestaciones y urbanizaciones, y ciertas formas de producción ganadera. Sin embargo, pudo observarse que el empleo de otras formas de ganadería tiene menos impacto negativo sobre la biodiversidad. Es por ello que la Alianza del pastizal promueve el desarrollo de formas de producción que contribuyen a mejorar el uso y la salud del pastizal, mediante la implementación de tecnologías apoyadas sobre los propios procesos naturales del campo, a efectos de contar con una mayor calidad y cantidad de pasto. Esta forma de manejar el pastizal redundará en beneficios concretos sobre la producción, obteniendo mejoras en los índices reproductivos y llevando al campo a un estado de mayor resiliencia para enfrentar inundaciones y sequías, y ayuda a mantener una oferta forrajera más estable en el tiempo con

la consecuente estabilidad en las ganancias de peso animal. Al mismo tiempo, una mayor oferta en la cantidad y variedad de pasto representa una estructura de vegetación que beneficia, por ejemplo, a las aves que allí habitan (Vaccaro et al., 2020; Grilli & Gabarain, 2021a, b).

Colofón

La pérdida de la biodiversidad es un problema global que avanza a una velocidad preocupante, mucho mayor que la de otros problemas (graves también) más conocidos, como el calentamiento global o la contaminación atmosférica. Esta pérdida tendrá implicancias futuras negativas sin precedentes para la especie humana. Los diagnósticos ambientales son frecuentes, no así las acciones para enfrentar esta crisis. Por ello, es necesario actuar ahora para prevenir una catastrófica extinción de especies que ponga en riesgo el futuro de la humanidad.

Agradecimientos

Agradecemos la lectura crítica de este trabajo a Elián Guerrero, Hugo López, Piero Marchionni y Facundo Palacio sin que ello signifique responsabilidad alguna con el contenido de este trabajo, y a los editores del libro por la invitación a participar del mismo. JVC y LK agradecen el apoyo del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP.

Referencias

Bauni V., Bertonatti C. & Giacchino A. (eds.). (2021). Inventario Biológico Argentino: vertebrados. Buenos Aires: Fundación de Historia Natural Félix de Azara. <https://bit.ly/3HsdwpJ>

- Bauni V., Bertonatti C., Giacchino A., Schivo F., Mabragaña E., Roesler I., Rosso J.P., Teta P., Williams J.D., Abba A.M., Cassini G.H., Cousseau M.B., Flores D.A., Fortunato D.M., Giusti M.E., Javat J.P., Liotta J., Lucero S., Martínez Aguire T., Pereira J.A. & Crisci J.V. (2022). Biodiversity of vertebrates in Argentina: patterns of richness, endemism and conservation status. *ZooKeys* 1085, 101-127. <https://doi.org/10.3897/zookeys.1085.76033>
- Bertonatti C. (2017). Los bienes y servicios que brinda la biodiversidad a la sociedad. *Estudios de la Academia Nacional de Ciencias de Buenos Aires* 125, 30-45. <https://bit.ly/3Gol662>
- Bertonatti C. (2021). Lista comentada de zoológicos, acuarios y otras instituciones que manejan fauna ex situ en la Argentina. *Nótulas Faunísticas* 314, 1-18. <https://bit.ly/3yvLS65>
- Ceballos G., Ehrlich P.R. & Dirzo R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 114, E6089-E6096. www.pnas.org/lookup/suppl/doi:10.1073/pnas.1704949114/-/DCSupplemental.
- Ceddia M.G. (2020). The super-rich and cropland expansion via direct investments in agriculture. *Nature Sustainability* 3, 312-318. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0480-2>
- Crisci J.V. (2001). La biodiversidad como recurso vital de la humanidad. *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria* 55, 256-269.
- Crisci J.V. (2006). Espejos de nuestra época: Biodiversidad, sistemática y educación. *Gayana Bot.* 63, 106-114. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432006000100006>
- Crisci J.V. & Katinas L. (2011). Taking biodiversity to school. In: E. Figueroa B. (Ed.), *Successful and Failed Experiences in Biodiversity Conservation: Lessons and Policy Recommendations*

- from the American Continent, pp. 471-506. Programa Domeyko en Biodiversidad de la Universidad de Chile, Secretaría del Medio ambiente del estado de Sao Paulo, Brazil. Santiago, Chile: Editorial FEN- Universidad de Chile.
- Crisci J.V. & Katinas L. (2011). La biodiversidad va a la escuela. En: E. Figeroa B. (Ed.), Conservación de la Biodiversidad en las Américas: Lecciones y Recomendaciones de Política, pp. 499-534. Programa Domeyko en Biodiversidad de la Universidad de Chile, Secretaría del Medio ambiente del estado de Sao Paulo, Brasil. Santiago, Chile: Editorial FEN-Universidad de Chile.
- Crisci J.V., Katinas L., McInerney J.D. & Apodaca M.J. (2014). Taking biodiversity to school: Systematics, Evolutionary Biology, and the nature of science. *Systematic Botany* 39, 667-680. <https://doi.org/10.1600/036364414X681563>
- Daily G.C. (1997). Countryside biogeography and the provision of ecosystem services. In: P.H. Raven & T. Williams (Eds.), *Nature and Human Society: The Quest for a Sustainable World*, pp 104-113. Committee for the Second Forum on Biodiversity, National Academy of Sciences and National Research Council. Washington D.C.: National Academy Press.
- Desmarchelier C. (2012). Fitomedicina. Documento de referencia. Buenos Aires: Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva de la Nación, 21 pp. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/fitomedicina_doc.pdf
- Ellis E.C. & Ramankutty N. (2008). Putting people in the map: Anthropogenic biomes of the world. *Frontiers in Ecology and the Environment* 6, 439-447. <https://doi.org/10.1890/070062>
- Grilli P. & Gabarain G. (2021a). Ocupación y estructura del pastizal: un análisis preliminar para las especies amenazadas de aves de pastizal de la Pampa Deprimida. Buenos Aires: Informe inédito de Aves Argentinas para BirdLife International, 14 pp.

- Grilli P. & Gabarain G. (2021b). Informe del relevamiento de las aves de pastizales altos en predios de la Alianza del Pastizal en la Pampa Deprimida de Argentina. Buenos Aires: Informe inédito de Aves Argentinas para BirdLife International, 18 pp.
- Hammond P.M. (1992) Species inventory. In: B. Groombridge (Ed.), Global Diversity. Status of the Earth's Living Resources, pp. 17-39. London: Chapman & Hall.
- Heaney L.R. (2004). Conservation biogeography in oceanic archipelagoes. Sunderland, MA: Sinauer Associates.
- IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services). (2019). The IPBES regional assessment report on biodiversity and ecosystem services for the Americas. Bonn, Germany: Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, 660 pp. https://ipbes.net/sites/default/files/2018_americas_full_report_book_v5_pages_0.pdf
- IUCN (International Union for Conservation of Nature). (2023). The IUCN Red List of Threatened Species. Version 2022-2. <https://www.iucnredlist.org/statistics>
- Katinas L. (2022). Biogeografía agrícola: El análisis espacial de los sistemas agrícolas. Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria 58, E1- E17. <http://anav.org.ar/wp-content/uploads/2022/09/Frank2022.pdf>
- Katinas L. & Crisci, J.V. (2018). Agriculture biogeography: An emerging discipline in search of a conceptual framework. Progress in Physical Geography 42, 513–529. <https://doi.org/10.1177/0309133318776493>
- Ladle R.J. & Whittaker R.J. (2011). Conservation biogeography. Oxford, UK: Wiley.
- Leadley P., Pereira H.M., Alkemade R., Fernandez-Manjarres J.F., Proenca V., Scharlemann J.P.W. & Walpole, M.J. (2010). Biodi-

- versity Scenarios: Projections of 21st century change in biodiversity and associated ecosystem services. Technical Series no. 50. Montreal: Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 132 pp.
- Liu Y., Fu B., Wang S. & Zhao W. (2018). Global ecological regionalization: From biogeography to ecosystem services. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 33, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2018.02.002>
- May R.M. (1988). How many species are there on earth? *Science* 241, 1441-1449.
- May R.M. (2011). Why worry about how many species and their loss? *PLoS Biol* 9: e1001130. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001130>
- Mora C., Tittensor D.P., Adl S., Simpson A.G.B. & Worm B. (2011). How many species are there on earth and in the ocean? *PLoS Biol* 9, e1001127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
- Mruthyunjaya P.S. & Saxena R. (2003). Agricultural research priorities for South Asia. Policy Paper No. 20., New Delhi, India: National Centre for Agricultural Economics and Policy Research (NCAP), Indian Council for Agricultural Research (ICAR).
- Perfecto I., Vandermeer J., Mas A. & Soto Pinto L. (2005). Biodiversity, yield, and shade coffee certification. *Ecological Economics* 54, 435-446. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2004.10.009>
- Pimm S.L. (2021). What we need to know to prevent a mass extinction of plant species. *Plants, People, Planet* 3, 7-15. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10160>
- Raven P.H. (2002). Science, sustainability and the human prospect. *Science* 297, 954-958. <https://doi.org/10.1126/science.297.5583.954>

- Roskov Y., Abucay L., Orrell T., Nicolson D., Bailly N., Kirk P.M., Bourgoin T., DeWalt R.E., Decock W., De Wever A., Nieukerken E. van, Zarucchi J. & Penev L. (Eds). (2019). Species 2000 & ITIS Catalogue of Life, 28th March 2018. Leiden, the Netherlands: Digital resource at www.catalogueoflife.org/col. Species 2000. <http://www.catalogueoflife.org/annual-checklist/2019/info/totals>
- Rossmann A.Y. & Miller D.R. (1996). Systematics solves problems in agriculture and forestry. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 83, 17-28. <https://doi.org/10.2307/2399964>
- Salariato D.L., Zanotti, C. & Zuloaga F.O. 2021. Threat patterns and conservation status of endemic vascular flora in Argentina: A quantitative perspective. *Phytotaxa* 520, 21-39. <https://orcid.org/0000-0002-3253-3755>
- Soulé M.E. (1991). Conservation: Tactics for a constant crisis. *Science* 253, 744-750. <https://doi.org/10.1126/science.253.5021.744>
- Stork N. (1999). How many species are there? *Biodiversity and Conservation* 2, 215-232. <https://doi.org/10.1007/BF00056669>
- Vaccaro A.S., Dodyk L., Lapido R., de Miguel, A. & Grilli P. (2020). ¿Cómo contribuye la Alianza del pastizal a la conservación de las aves en la pampa deprimida? *El Hornero* 35, 95-109.
- Wilson E.O. (1984). *Biophilia*. Cambridge: Harvard University Press.
- Wilson E.O. (2003). The encyclopedia of life. *Trends in Ecology and Evolution* 18, 77-80. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)00040-X](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)00040-X)
- Zuloaga F.O., Belgrano M.J. & Zanotti C.A. (2019). Actualización del catálogo de las plantas vasculares del Cono sur. *Darwiniana, nueva serie* 7, 208-278. <https://doi.org/10.14522/darwiniana.2019.72.861>

Capítulo 10

Agricultura y provisión de servicios ecosistémicos

Martín Oesterheld y María Semmartin

El Problema

Campo “en producción” y campo “abandonado”

Imaginemos un campo, un establecimiento agropecuario, en producción en la región pampeana. Produce cultivos y carne vacuna. Anualmente vende sus cosechas de trigo, soja y maíz, y también vende ganado vacuno en pie. Compra maquinaria, fertilizante, herbicidas, pesticidas, vacunas. Repara instalaciones. Abona salarios. Tributa impuestos.

Ahora imaginemos que las personas que viven y trabajaban allí retiran el ganado, se van, el campo deja de trabajarse. El flujo de salidas y entradas descripto en el párrafo anterior se detiene, pero ¿qué pasa en ese campo abandonado? Las áreas que habían sido cultivadas o pastoreadas se van poblando de vegetación espontánea en una sucesión de cambios. Algo parecido sucede con las poblaciones de insectos, microorganismos, pequeños mamíferos.

Finalmente, imaginemos la misma circunstancia de abandono anterior, pero en lugar de dejar que los organismos sigan su curso, eliminamos toda actividad biológica y mantenemos el campo en un estado inerte.

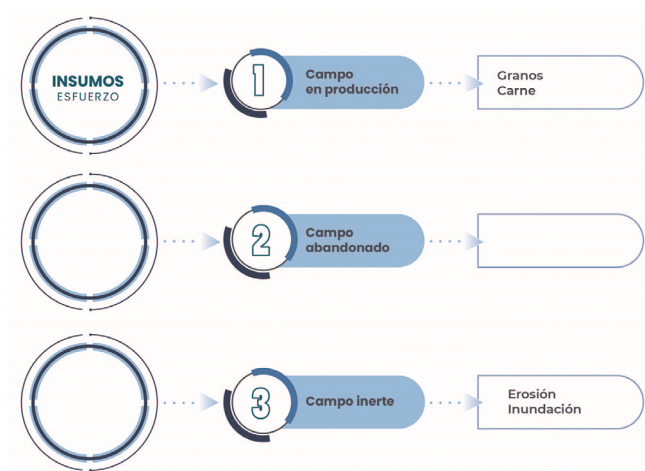


Figura 1. Visión simplificada de un campo en producción, otro abandonado y otro inerte según se describe en el texto.

¿Da lo mismo para actuales vecinos y futuros ocupantes del campo que quede abandonado con o sin vida? Claramente no. El campo abandonado con vida sufrirá menos erosión, incorporará energía y nutrientes al suelo, reducirá la escorrentía durante las tormentas, albergará a una rica fauna y flora. ¿Qué pasaría si este experimento mental no se limitara a un campo sino a una gran extensión, una cuenca, por ejemplo? Seguramente, la situación inerte sería una catástrofe que afectaría a la red vial, a un poblado vecino, a una laguna alejada que vive del turismo.

Este experimento enseña que la descripción inicial del campo en producción (Figura 1) fue una caricatura que omitió información esencial sobre lo que allí estaba pasando. Por un lado, ese campo estaba pasando mucho más que granos, carne, trabajo, divisas, impuestos a la sociedad. Le estaba brindando otros beneficios: control de la erosión, aporte de energía y nutrientes al suelo, etc. Por otro lado, gran parte de esa producción de granos y carne estaba sostenida por funciones que excedían largamente a las provistas por la infraestructura,

los insumos o el trabajo. De alguna manera, el campo en producción recibía y entregaba servicios ecosistémicos.

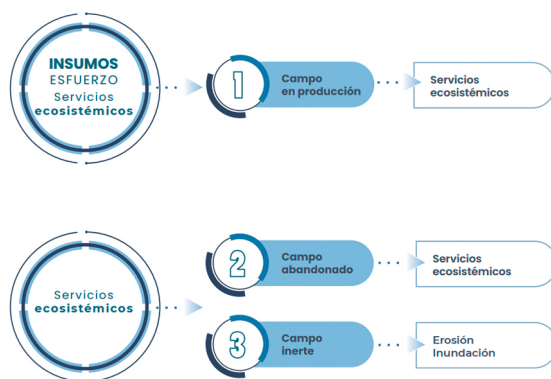


Figura 2. Visión de las mismas situaciones de la Figura 1 a la luz del concepto de servicios ecosistémicos.

Un problema de antigua data, pero también actual, es ignorar o subvalorar esa labor silenciosa que los agroecosistemas brindan a los humanos más allá de proveer productos y empleos agropecuarios. Para mitigar este problema, tanto para los agroecosistemas como para los ecosistemas en general, desde hace pocas décadas se ha desarrollado el concepto de “servicios ecosistémicos”: una diversidad de beneficios que proveen los ecosistemas a la sociedad.

En este texto, intentaremos explicar la diversidad de servicios ecosistémicos que coexisten en los agroecosistemas y las interacciones entre ellos. Luego, presentaremos algunas formas en las que la agricultura actual resuelve estas interacciones de manera de alcanzar una combinación sostenible de servicios.

¿Cómo es un agroecosistema y cómo funciona?

Un agroecosistema tiene elementos vivos, como plantas, animales y microorganismos, y elementos que no están vivos, como agua, nu-

trientes, aire, materia orgánica muerta. Estos componentes interactúan entre sí y con las actividades humanas, y así forman un sistema complejo y dinámico, un agroecosistema. Por esta trama de organismos y de elementos sin vida fluye energía y ciclan nutrientes. La energía fluye desde el sol a las plantas, que la capturan mediante la fotosíntesis, y luego es transferida a los animales y a los microorganismos. Al mismo tiempo, los nutrientes, como el nitrógeno y el fósforo, circulan entre los organismos, el suelo y/o la atmósfera, pero también ingresan y egresan por escorrentía, precipitaciones o compras y ventas.

Hay una gran diversidad de agroecosistemas. Difieren, por ejemplo, por el sistema de producción, los cultivos, las prácticas agrícolas, la topografía, el clima y la biodiversidad que albergan. Un agroecosistema de la región núcleo pampeana muy probablemente se trate de una pequeña o mediana empresa dedicada a la agricultura extensiva con grandes maquinarias, un relieve llano, abundantes precipitaciones, y flora y fauna espontáneas propias de la zona pampeana. Las plantas capturan una alta proporción de la energía solar y hay una intensa circulación de nutrientes entre microorganismos y plantas. En cambio, un agroecosistema del Chaco Seco probablemente sea una explotación familiar con una huerta, cría de ganado en bosques y pastizales, extracción de leña, clima semiárido y flora y fauna de ambientes subtropicales secos. Una mayor proporción de energía solar es reflejada por el suelo y los nutrientes son retenidos más conservadoramente en las plantas.

En resumen, al entender la composición y el funcionamiento de un agroecosistema podemos empezar a reconocer y valorar los servicios ecosistémicos que brindan. Pero entonces, ¿qué son estos servicios ecosistémicos y cómo se relacionan entre sí?

Tipos de servicios ecosistémicos en el agro

En nuestro experimento mental, el campo en producción y el abandonado son a fin de cuentas ecosistemas que comparten

características de estructura y funcionamiento. Ambos tienen en esencia los mismos componentes. El campo en producción es un agroecosistema, el abandonado un ecosistema. En ambos, las plantas, animales y microorganismos contribuyen a conservar el suelo, ciclar nutrientes, retener el agua, proteger contra la erosión y fijar nitrógeno. Pero seguramente lo hacen en distinta medida.

El concepto de servicios ecosistémicos, aunque formalizado recientemente, tiene raíces en ideas muy anteriores. Los servicios ecosistémicos son las características, funciones o procesos ecológicos que contribuyen directa o indirectamente al bienestar humano; es decir, los servicios ecosistémicos son beneficios que las personas obtienen de los ecosistemas en funcionamiento. En las últimas décadas, este concepto adquirió popularidad y fue ampliamente desarrollado en la ciencia y la política.

Los servicios ecosistémicos pueden clasificarse en cuatro categorías principales: servicios de provisión, de soporte, de regulación y culturales. Los servicios de provisión son los bienes y recursos que los ecosistemas proveen directamente a los humanos y brindan sustento económico a las sociedades rurales y urbanas: producción de alimentos, fibras y materias primas, entre otros. Esos son los servicios que nuestra primera caricatura del campo en producción resaltó como únicos. La producción de alimentos es uno de los servicios de provisión más evidentes y esenciales, ya que los agroecosistemas suministran granos, frutas, hortalizas, carne y productos lácteos que nutren a la población mundial y sustentan la seguridad alimentaria. Además de los alimentos, los agroecosistemas también proveen fibras, como algodón, lino y lana, que son fundamentales para la industria textil y el vestido. Otras materias primas, como la madera, los aceites vegetales, las plantas medicinales y los biocombustibles, también son parte de los servicios de provisión que los agroecosistemas brindan y son cruciales para sectores como la construcción, la industria química, farmacéutica y la producción de energía.

Pero en esa caricatura se ignoraba a otras tres categorías de servicios. Los servicios de soporte son procesos que subyacen al funcionamiento del ecosistema y que indirectamente contribuyen servicios a los humanos. Un ecosistema produce nueva biomasa a través de la fotosíntesis, lo cual es el fundamento para la producción de alimentos y la base de la cadena trófica y por lo tanto de la biodiversidad. Esa producción se incorpora al suelo y forma la materia orgánica, que ayuda a que los suelos retengan la lluvia y tengan una estructura resistente a la acción del agua, el viento y el manejo. Los organismos del suelo liberan nutrientes que son necesarios para la fotosíntesis y el crecimiento. Que el suelo sea suelo, en lugar de una capa de polvo, es resultado de los servicios ecosistémicos de soporte. En algunas clasificaciones, a los servicios de soporte se los considera indirectos, ya que no son beneficios que los humanos aprovechemos directamente, sino que contribuyen a los otros tipos de servicios.

Los servicios de regulación moldean procesos y variables ambientales y abarcan, por ejemplo, el control del clima, la calidad del agua, la polinización y el control biológico de plagas. Por ejemplo, la vegetación regula las temperaturas y la humedad al capturar y liberar agua y proveer sombra. Los ecosistemas purifican el agua cuando actúan como filtros naturales que retienen sedimentos, nutrientes y contaminantes. De esta manera, protegen a los recursos hídricos. Los polinizadores, un componente clave de muchos ecosistemas, prestan un servicio de regulación esencial, ya que muchos cultivos dependen de abejas, mariposas y aves para transportar el polen necesario para producir frutos y semillas. Por último, depredadores, parásitos y patógenos controlan a las plagas y evitan daños a los cultivos.

Los servicios culturales proveen beneficios no materiales para la cultura y el bienestar, como los beneficios recreativos, estéticos y educativos. Los beneficios recreativos abarcan actividades al aire libre, como caminatas, avistamiento de aves y paseos en bicicleta,

que permiten a las personas disfrutar del entorno natural y promover la salud física y mental. Además, los agroecosistemas también ofrecen beneficios estéticos, como paisajes rurales y biodiversidad que, a través de su belleza y diversidad, inspiran y generan sensaciones de calma y bienestar emocional. Por último, los servicios culturales también incluyen oportunidades educativas, que convierten a los ecosistemas en escenarios para aprender e inv



Figura 3. Los servicios ecosistémicos como diferentes clases de insumos y productos de los ecosistemas.

Implicancias

Interacciones entre servicios ecosistémicos

Hasta ahora, este texto ha mostrado los múltiples servicios de los agroecosistemas para con los humanos. Sin embargo, los servicios ecosistémicos están conectados entre sí y la provisión de un servicio puede repercutir favorable o desfavorablemente sobre la provisión de otros. Estas interacciones, a veces compromisos y a veces sinergias, son el nudo del problema, especialmente cuando se trata de conciliar los servicios de provisión con los de regulación (por ejemplo, producción de granos con secuestro de carbono).

Los compromisos entre diferentes servicios ecosistémicos, especialmente entre servicios de provisión y regulación, pueden dificultar esta conciliación. Por ejemplo, aplicar fertilizantes y pesticidas indiscriminadamente puede contaminar el agua y el suelo y así reducir los servicios de regulación, como la purificación del agua y el control de plagas. Simplificar y expandir el paisaje agrícola puede eliminar hábitats naturales, como bosques y humedales, reducir la biodiversidad y debilitar los servicios de soporte, como la polinización y la formación de suelos. Y transformar paisajes naturales y tradicionales en monocultivos extensivos puede disminuir la belleza escénica, el valor cultural de la tierra, el turismo, la recreación y la identidad cultural. En el sentido opuesto, maximizar los servicios de soporte, regulación y culturales a costa de la producción agrícola puede reducir la disponibilidad de alimentos y otros bienes agrícolas, con repercusiones sobre la economía, el bienestar social y la seguridad alimentaria. Finalmente, cada vez más frecuentemente, se encuentran o diseñan alternativas que en lugar de rendirse ante estos compromisos generan sinergias entre servicios que antes se consideraban contrapuestos.

Una posición extrema ante los compromisos entre servicios ecosistémicos es priorizar los servicios de provisión, asignar la mayor parte del valor de la producción agropecuaria a las inversiones, el trabajo, los insumos y la tecnología, minimizar la contribución de la naturaleza a la producción e ignorar las implicancias de eventuales disminuciones de otros servicios. “Bueno, para mí, lo más importante de un agroecosistema es lo que produce. Al final del día, eso es lo que nos da de comer y nos permite vivir. ¿De qué nos sirve un campo si no produce nada? Así que sí, creo que hay que enfocarse en maximizar la producción, aplicar los fertilizantes necesarios, usar pesticidas para controlar las plagas y buscar siempre las mejores técnicas para sacarle el mayor provecho a nuestras tierras. Porque eso es lo que realmente importa. Todo lo demás, como lo del paisaje, la captura de carbono, o la vida silvestre, está

bien, pero no es lo esencial. Lo que necesitamos es que nuestros agroecosistemas sean productivos, porque si no, no vamos a poder alimentar a nuestra gente,” puede decir un personaje ficticio que represente esta postura.

En el extremo opuesto, alguien puede ver con preocupación que la producción agropecuaria atente contra la provisión de servicios de soporte, regulación y cultura de los cuales también depende la humanidad. Ante el mismo compromiso, minimiza el valor de la provisión de bienes y maximiza el de los otros servicios. “Pienso que lo verdaderamente importante en un agroecosistema es preservar la naturaleza y el medio ambiente. La producción de alimentos y esas cosas está bien, pero si seguimos explotando la tierra de esta manera, al final no vamos a tener un planeta en el que vivir. Así que, en mi opinión, deberíamos centrarnos en la conservación de la biodiversidad, en recuperar los paisajes naturales y permitir que la fauna y la flora prosperen. Además, es fundamental para nuestro bienestar disfrutar de la belleza y la tranquilidad que nos brindan estos espacios naturales. A veces siento que la gente se olvida de eso, especialmente aquellos que están metidos en el mundo de la agricultura. Yo creo que necesitamos volver a la naturaleza, dejar que las cosas sigan su curso y no interferir tanto en los ecosistemas. Lo ideal sería que todo vuelva a ser como antes,” puede decir otro personaje ficticio.

Afortunadamente, contamos con un marco conceptual para entender mejor los matices entre estas dos posiciones extremas. Ese marco está dado por los gráficos del tipo radar (Figura 4) y las curvas de respuesta (Figura 5), que cuantifican los servicios que brindan los ecosistemas con diferentes manejos. Los gráficos de tipo radar permiten comparar ecosistemas con distinto perfil de provisión de servicios. Por ejemplo, en la Figura 4, el ecosistema 2 provee menor servicio ecosistémico en general, pero mayor servicio “D” que el ecosistema 1. Las curvas de respuesta de los servicios en función del uso representan gráficamente cómo el uso intensivo de

un agroecosistema puede aumentar algunos servicios ecosistémicos, como los de provisión (por ejemplo, producción de alimentos), mientras que otros servicios, como los de soporte, regulación y culturales, pueden disminuir con distinta tasa debido a la presión ejercida sobre el ecosistema. Nuestras caricaturas de campo en producción y campo abandonado o de personajes ficticios tendrían distintas formas en los gráficos del tipo radar o estarían ubicadas en extremos del eje horizontal de las curvas de respuesta.

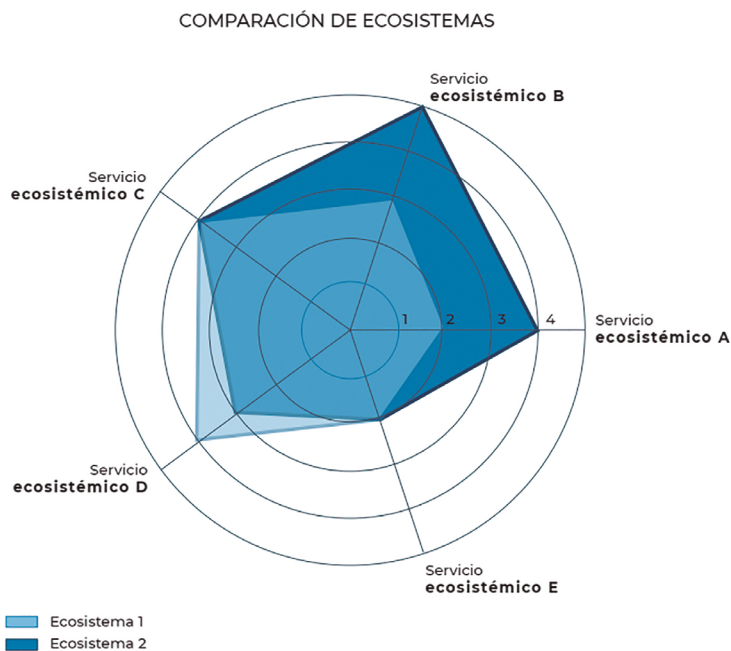


Figura 4. Gráfico del tipo radar que representa la provisión de cinco servicios ecosistémicos por dos ecosistemas. En este caso se puede interpretar que el Ecosistema 2 provee menos servicios globalmente (menor área), pero excede al Ecosistema 1 en términos del servicio D.

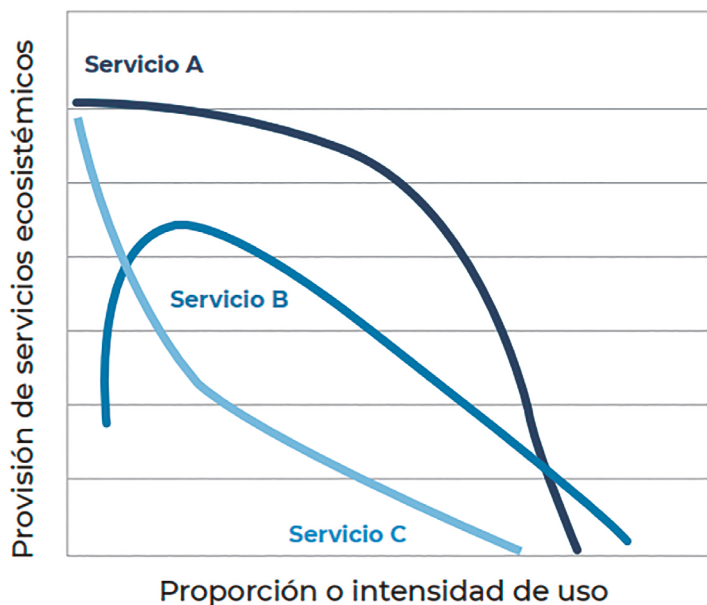


Figura 5. Representación conceptual de las funciones de respuesta de tres servicios ecosistémicos a medida que aumenta la intensidad de un factor ambiental que reduce el nivel de provisión de esos servicios. En el ejemplo, el servicio B podría tratarse de un servicio de provisión, mientras que A y C serían otros tipos de servicios, el C con una caída mucho más sensible que el A. Adaptado de de Groot et al. (2010).

La polarización basada en la exageración del compromiso entre los servicios de provisión frente a los servicios de soporte, regulación y culturales ha generado diversos estereotipos en torno a la producción agrícola. En un extremo, se demoniza a la agricultura como una actividad minera, extractivista y tóxica y se asigna el mote de agricultura convencional o hegemónica a un modelo productivo que engloba a todo lo que se puede hacer mal en términos de una equilibrada provisión de servicios ecosistémicos. En el otro extremo, se condena como ambientalismo extremo, máquina de impedir o retrógrado a cualquier modelo que apunte a una mode-

ración productiva en función de mantener ciertos servicios distintos de los de provisión. Estos estereotipos simplifican y polarizan la discusión sobre la producción agrícola y así impiden un enfoque más matizado y equilibrado que tenga en cuenta la necesidad de abordar simultáneamente los desafíos ambientales, económicos y sociales para lograr un desarrollo agrícola sostenible y resiliente.

Estrategias

Fuera de los estereotipos, la realidad

Afortunadamente, la realidad de la producción agropecuaria va más allá de los estereotipos mencionados. La agricultura actual refleja un abanico de matices entre estas dos visiones extremas, con un enfoque más equilibrado y consciente de la necesidad de armonizar la producción de alimentos con la conservación de los recursos naturales y el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Desde hace décadas, la agenda agrícola incorpora una creciente preocupación por el componente ambiental en todos los niveles del sector. En las explotaciones agropecuarias, se han implementado prácticas como la rotación de cultivos, el manejo integrado de plagas, la conservación del suelo y la utilización de tecnologías de precisión para mejorar la eficiencia del uso de recursos y reducir impactos no deseados. En el ámbito educativo, las instituciones formadoras de profesionales y técnicos del sector han incorporado contenidos relacionados con la sostenibilidad y el cuidado del ambiente en sus programas de estudio. Los gobiernos, por su parte, han desarrollado políticas y regulaciones que promueven prácticas agrícolas sostenibles y buscan proteger la biodiversidad y los servicios ecosistémicos. Asimismo, las empresas del sector reconocen la importancia de la sostenibilidad en sus estrategias de negocio e impulsan la adopción de tecnologías y prácticas más respetuosas con el medio ambiente. Y las investigaciones, tanto del sector público como del privado, priorizan temas relacionados con la sostenibilidad de la producción agropecuaria.

En este contexto, el desafío actual para la agricultura es seguir avanzando en la búsqueda de un equilibrio entre la producción de alimentos y la preservación de los servicios ecosistémicos, superando estereotipos y promoviendo la adopción de prácticas agrícolas que sean sostenibles y respetuosas con el entorno. No es casual que la sostenibilidad aparezca aquí en el contexto de los servicios ecosistémicos. Es un concepto también relativamente reciente, pero unos 30 años más antiguo. La sostenibilidad apela a la continuidad en el tiempo de beneficios económicos, ecológicos y sociales de los ecosistemas, lo cual no es otra cosa que mantener una cierta combinación de servicios ecosistémicos.

Vientos de cambio

En capítulos anteriores se abordaron estrategias de producción denominadas “intensificación sostenible” (Andrade, Capítulo 1), que aquí podemos analizar a la luz del concepto de servicios ecosistémicos. Algunas de estas estrategias proponen sistemas agrícolas con secuencias de cultivos que maximicen el período con el suelo cubierto por vegetación. Tal es el caso de los dobles cultivos, que aprovechan el invierno y el verano, o los cultivos de cobertura (también llamados de ‘servicios’), que no se cosechan, sino que mantienen cubierto el suelo y luego son incorporados a él como una entrada de energía y nutrientes. Precisamente, la denominación de “cultivo de servicios” enfatiza que su función principal no es generar una renta con su cosecha. Por el contrario, se implementan con el fin de generar condiciones que reducen el crecimiento de malezas, retienen el agua de lluvia, mitigan la pérdida de suelo por erosión y reponen el “almacén” de carbono y nutrientes del suelo, tal como lo plantean Taboada (Capítulo 4) y Casas (Capítulo 2). En otras palabras, brindan esa labor silenciosa mencionada al comienzo de este capítulo que, en última instancia, perpetúa la productividad de los suelos.

Estas estrategias de producción que se implementan en la escala de lotes o establecimientos individuales frecuentemente tienen su correlato en escalas más extensas, como la de paisaje. La planificación y el diseño del paisaje permite incorporar áreas de vegetación permanente, que potencian los servicios ecosistémicos que ofrecen los paisajes rurales. Algunos ejemplos de estas estrategias son las franjas vegetadas con especies perennes, que actúan de refugio para insectos benéficos y como recurso floral para polinizadores. Las vías de drenaje vegetadas reducen la velocidad del movimiento horizontal del agua (escorrentía) y reducen la pérdida de suelo y conservan la funcionalidad de los cursos de agua. Finalmente, la incorporación de cortinas de viento forestales aumenta la rugosidad de la superficie y reduce la erosión. El conjunto de estas intervenciones en el paisaje actúa principalmente maximizando los servicios de regulación y soporte, aunque también contribuye a los servicios culturales mediante una mayor diversidad paisajística. También introduce la relevancia de la escala, ya que gran parte de la discusión sobre los compromisos entre servicios ecosistémicos puede resolverse por la ocupación de distintas porciones de terreno con diferentes combinaciones de producción de servicios ecosistémicos.

Conclusiones

Las intervenciones de la agricultura moderna que buscan maximizar los servicios ecosistémicos como un todo, son moneda corriente y parte de la agenda de las reuniones científicas, de profesionales y de agricultores. En torno a esta agenda crece día a día un ecosistema de organizaciones que proveen soluciones tecnológicas, a veces sofisticadas, pero al mismo tiempo alcanzables. La agricultura de precisión, por ejemplo, aplica tecnologías digitales a optimizar el uso de los recursos, no fertilizar en exceso, respetar ambientes que no deben ser intervenidos, etc. La sociedad urbana es cada vez más consciente de los compromisos entre servicios ecosistémicos ligados al agro, aunque no haya oído hablar de ellos

explícitamente. Sin embargo, los problemas ambientales ligados al agro están lejos de haber sido resueltos y queda mucho por hacer.

Esperamos que estas líneas hayan clarificado el marco conceptual del problema, abierto el interés sobre las implicancias y despertado la curiosidad sobre las estrategias de solución. Que como lectores hayan comprendido cómo un campo en producción, incluso el más tecnificado, tiene detrás un sistema de soporte natural enorme. Que además de producir bienes agrícolas brinda otros servicios, que a la vez pueden ser comprometidos o potenciados por el manejo y las condiciones ambientales. Y que incluso el caso extremo de un campo abandonado es en muchos aspectos un campo en producción.

Referencias

- Costanza, R, R de Groot, L Braat, I Kubiszewski, L Fioramonti, P Sutton, S Farber, M Grasso. (2017). Twenty years of ecosystem services: how far have we come and how far do we still need to go? *Ecosystem Services*, Part A: 1-16.
- Daily, G.C., Polasky, S., Goldstein, J., Kareiva, P.M., Mooney, H.A., Pejchar, L., Ricketts, T.H., Salzman, J. and Shallenberger, R. (2009). Ecosystem services in decision making: time to deliver. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7: 21-28.
- De Groot, R.S., Alkemade, R., Braat, L., Hein, L., Willemen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*, 7: 260-272.
- Fernández, R.J. (en prensa). *Agronomía, medioambiente y alimentación: tecnologías e ideologías*. Editorial Facultad de Agronomía.
- Prairie, A.M., King, A.E., Cotrufo, F. (2023). Restoring particulate and mineral-associated organic carbon through regenerative

- agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 120: e2217481120.
- Power, A.G. (2010). Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. *Phil. Trans. R. Soc. B*, 365: 2959–2971.
- Satorre, E.H. 2020. *Sistemas productivos sostenibles. Manual Técnico* – CREA. Buenos Aires, 333 páginas.
- Shi, Y., Tonda, A., Accatino, F. (2023). Handling ecosystem service trade-offs: the importance of the spatial scale at which no-loss constraints are posed. *Landscape Ecology*, 38, 1163–1175.

Capítulo 11

Huellas, balances y estrategias ambientales en el agro

Ernesto F. Viglizzo

El problema

Más allá del imperativo ético de conservar los ecosistemas y el ambiente, y de los compromisos internacionales firmados por la Argentina, existen en la relación agro-ambiente otras tensiones que se acentúan año tras año.

Admitiendo una sobre simplificación del asunto, hoy la Argentina debe pendular entre dos modelos ambientales opuestos (uno chino; el otro europeo) que afectan la producción y modulan el comercio internacional de bienes. Por un lado, el modelo chino enfoca la problemática ambiental desde un interés estrictamente nacional, soslayando los impactos que ella genera en otros países. Por el otro lado, el modelo europeo aborda el problema desde una perspectiva global, y aspira a imponer internacionalmente un modelo ambiental que sea espejo del suyo en otros países con los cuales se relaciona. Ambos modelos están fuertemente atados a la gestión de los ecosistemas y el ambiente, pero sus consecuencias son distintas.

La estrategia ambiental china

La explotación de la tierra, los bosques, el agua y la naturaleza en China durante miles de años de ocupación y desarrollo humanos degradó gravemente el medio ambiente, empobreció a su población rural y acentuó calamidades como inundaciones, sequías y hambrunas (Marks, 2017). Desde la década de 1950, las reformas políticas y socioeconómicas, el desarrollo, el rápido aumento de la población y la industrialización dispararon una emergencia ambiental masiva. La multiplicación de desastres naturales ocurridos a fines de la década de 1990 estimuló la implementación, a gran escala, de políticas destinadas a mitigar la degradación ambiental. Los principales objetivos fueron reducir la erosión, la contaminación por nutrientes y plaguicidas, la sedimentación y las inundaciones en los ríos Yangtze y Amarillo, conservar los bosques en el NO, mitigar la desertificación y las tormentas de arena en el N seco y el S rocoso, y aumentar la productividad agrícola en el centro y E de China. Los objetivos ambientales se complementaron con objetivos socioeconómicos, como la reducción de la pobreza, el desarrollo económico rural y la seguridad alimentaria nacional (Bryan et al., 2018).

La importación de alimentos desde terceros países (entre ellos Estados Unidos, Brasil y Argentina) permitió a la China descomprimir las presiones internas sobre sus suelos, sus reservas acuíferas, sus bosques y biodiversidad, y su capacidad para producir alimentos. En la práctica es dable asumir que, con la exportación de alimentos, esos países transfirieron servicios de sustentabilidad ambiental a China. Naturalmente, ese proceso no resultó inocuo a estos países exportadores, ya que presionaron sobre sus propias reservas de suelo, carbono, nutrientes, agua y bosques, y exigieron eficiencia a sus tecnologías más avanzadas (Viglizzo y Piñeiro, 2018).

En síntesis, la estrategia china para enfrentar sus crisis fronteras adentro, fue externalizar sus problemas a terceros países que, ade-

más de alimentos, le proveyeron recursos ambientales intangibles. China logró ese objetivo a través del comercio internacional de alimentos, pero sin ocuparse de los problemas ambientales que genera en aquellos países que le proveen productos del agro (Wiedman & Lanzen, 2018).

La estrategia ambiental europea

La estrategia ambiental europea es diametralmente opuesta a la china, ya que no se limita a preservar los ecosistemas y el ambiente fronteras adentro de la Unión, sino que procura extender su influencia a otros países, especialmente a aquellos con los cuales comercia o se relaciona.

La estrategia Farm to Fork (Del Campo al Tenedor) se lanzó en mayo del 2020 como parte del llamado European Green Deal (Pacto Verde Europeo), que es una hoja de ruta que en teoría permitirá a la Unión Europea (UE) convertirse en la primera región del planeta ambientalmente neutra en el 2050 (Comisión Europea, 2022). Desde un punto de vista alimentario, son prioridades del Pacto Verde Europeo proteger la biodiversidad y los ecosistemas, reducir la contaminación del aire, el agua y el suelo, mejorar la gestión de desechos y residuos, y garantizar la sustentabilidad de los océanos, lagos, ríos y la pesca. En esta iniciativa involucra no solamente a los gobiernos, ciudadanos y agroindustrias europeas, sino también de manera no vinculante, a terceros países que tengan relaciones comerciales o de otro tipo con la UE. Las finanzas, el comercio y la política son aplicados como instrumentos para reducir los impactos dentro la UE, y en países que interactúan con Europa a escala mundial. Esto exige que esos mismos compromisos de corto y mediano plazo sean asumidos como propios por el resto de los países que interactúan con la UE. Está claro que esta política puede afectar diferencialmente a los países en desarrollo (como Argentina) que tienen una capacidad financiera limitada (Papendiek, 2021).

En síntesis, Argentina enfrenta el desafío de proveer alimentos y otras materias primas agropecuarias a dos potencias económicas que enfocan el problema ambiental de manera muy distinta, e imponen reglas de juego diferentes. Frente a esta bipolaridad, sin duda nuestro país deberá analizar con inteligencia sus propias estrategias internas de manera que la apertura o el mantenimiento de ciertos mercados lleven a restringir o cerrar otros.

Implicancias

El patrón alimentario de la población china ha cambiado significativamente en las últimas décadas, y es el principal impulsor de cambios estructurales en el agro de la Región MERCOSUR. El aumento de las importaciones destinado a satisfacer la creciente demanda de China es inevitable. A ello se suman las políticas internas de largo plazo en ese país para regenerar los recursos naturales y activos ambientales que han perdido. En paralelo, la preferencia por alimentos ricos en proteínas y de alta calidad por parte de una clase media urbana en crecimiento tiene implicancias ambientales en países que exportan alimentos a China. La deforestación para producir carne y soja en Brasil destinada al mercado chino es una evidencia verificable. Claramente, la política china no está ocupada -y seguramente no lo estará- por favorecer una gestión ambiental saludable en los países que le venden alimentos. Frente a una demanda voraz, es inmediato inferir que existirá con ese país un comercio libre de restricciones ambientales.

Sin embargo, en un conglomerado de naciones que apunta a una gobernanza global, es probable que la permisividad ambiental sea crecientemente cuestionada. Como ha señalado Gustavo Idígoras, presidente de la Cámara de la Industria Aceitera de Argentina (CIARA), "...hasta ahora podíamos decidir si hacer algo o no (en política ambiental), pero eso ya no será así. Si arranca Europa, siguen Estados Unidos y el Reino Unido, y atrás vienen

China, India y casi todos los países compradores...”. Esta es una advertencia clara de que Argentina debe ocuparse del tema porque las presiones de Occidente crecerán sobre las potencias orientales. Una manera inteligente de reaccionar es mirar hacia dónde va Europa y ajustar nuestras estrategias. La intención manifiesta de la UE es liderar una transición hacia una sustentabilidad ambiental global. Y para ello negociará acuerdos multilaterales y bilaterales que se alineen a sus regulaciones y estándares

¿Qué perfil muestran las políticas ambientales europeas? Dos prioridades marcan tendencia. Una prioridad refiere a la Huella de Carbono. Se ha ideado un Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera (Carbon Border Adjustment Mechanism) que servirá de modelo para otros mecanismos de ajuste ambiental. Tal estrategia obligará en algunos años a los productores y procesadores de alimentos (y a otras industrias) dentro de Europa a comprar “cuotas” dentro del mercado de carbono para compensar sus emisiones. El mismo tratamiento se propone aplicar en frontera a los alimentos provenientes de terceros países que no puedan demostrar acciones verificables de reducción de emisiones de carbono. Al unificar la penalización tanto a productos locales como externos, disuaden a los productores europeos de cualquier intento de trasladar su producción a países con legislación ambiental más laxa, y se liberan de esa manera de argumentaciones acusatorias de aplicar políticas proteccionistas. Otra prioridad de alto impacto atañe a la deforestación en los países productores y exportadores de alimentos. Hay una decisión explícita de prohibir la importación de alimentos producidos en áreas deforestadas a partir de comienzos del año 2021. Productos como soja, carne y cueros bovinos, soja, café, cacao, caucho, aceite de palma, madera entre otros deberán cumplir un requisito denominado Diligencia Debida (Due dilligence), que consiste en evaluar la trazabilidad de inocuidad forestal del producto a través de certificaciones y etiquetas verificables. En paralelo se implementa un sistema de monitoreo geográfico para indagar

cuáles empresas exportadoras cumplen con ese cometido y cuáles no. Asimismo, el monitoreo tiene por objetivo determinar si una deforestación encuadra dentro de los estándares legales del país productor, o si se trata de una deforestación clandestina. Se evalúa asimismo si esa restricción debe extenderse a otros biomas (como los humedales y pastizales) que se consideran valiosos para preservar la biodiversidad y la provisión de servicios ecosistémicos como la captura y almacenamiento de carbono.

Existen grupos que han definido diez pasos para implementar el Pacto Verde Europeo en materia agrícola y ganadera (Donham & Wezel, 2022): i) Reducir drásticamente el uso de plaguicidas sintéticos y fertilizantes, ii) promover los sistemas mixtos agrícola-ganaderos, iii) fortalecer la salud animal y el manejo extensivo del ganado, iv) restaurar y expandir los pastizales y pasturas permanentes, v) reforestar las áreas agrícolas, vi) diversificar el número y tipo de cultivos de cada granja individual, vii) incrementar la diversidad de hábitats, viii) incrementar la adopción de agriculturas orgánicas, ix) promover la investigación sobre buenas prácticas agropecuarias, x) promover la participación de grupos de interés.

En materia de restricciones, la lista se amplía hacia otros tópicos, algunos de los cuales pueden tener una incidencia potencial negativa sobre nuestros productos comerciables y sistemas de producción. Por ejemplo, i) imponer que un porcentaje significativo de tierras agrícolas sean afectadas a la agricultura orgánica, ii) retirar de la producción tierras de alto valor en biodiversidad, iii) reducir o eliminar el uso de plaguicidas comerciales en áreas periurbanas, iv) reducir el uso de fertilizantes, v) reducir el uso de anti-microbianos en granjas, o vi) aplicar medidas precautorias sobre la genómica agrícola. Asimismo, adquiere importancia creciente la instrumentación de controles sobre las cadenas agroindustriales en materia de salud humana (Musicus et al., 2022) e impacto ambiental (Clark et al., 2022). La impo-

sición a terceros de este tipo de restricciones puede complicar el diseño de una estrategia ambiental propia en los países que se relacionan con la UE. Otras disposiciones relativas a la forestación, el bienestar animal, la recuperación de áreas degradadas, etc. pueden tener un impacto neutro, y aún deseable, en países exportadores de alimentos.

Entre el modelo ambiental chino y el europeo aparecen variantes que dependen de las políticas de distintos países. Una estrategia sensata para la Argentina consistirá en observar de cerca la evolución de las políticas europeas, ya que es previsible su influencia creciente a escala global teniendo en cuenta las emergencias climáticas y ambientales que atraviesa el planeta. Un primer paso al diseño de una estrategia nacional podría orientarse a definir criterios sobre huellas y balances ambientales que favorezcan la relación del país con otras economías demandantes de nuestros productos del sector agropecuario y agroindustrial.

Estrategias

Huellas y Balances ambientales

Definidas genéricamente, las huellas ambientales son medidas de trazabilidad que calculan los impactos ecológicos y ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto (“desde la cuna hasta la sepultura”). Incluyen desde los impactos pre-prediales debidos a la extracción de materias primas y a la manufactura de insumos, hasta los impactos prediales debidos al proceso de producción de primaria, y los post-prediales debidos al almacenamiento, procesamiento, envasado, transporte, distribución, consumo y disposición final.

Por otro lado, los balances ambientales hacen referencia a sitios específicos en los cuales se calculan diferencias cuantitativas entre ganancia y pérdida de un factor ambiental relevante, por ejemplo, carbono o nutrientes.

Hay Huellas cuantificables como las del carbono, la hídrica, la forestal, la de nutrientes, la de plaguicidas o la de uso de energía fósil. Y las hay no cuantificables como aquellas que evalúan la biodiversidad, el hábitat, los servicios ecosistémicos o el bienestar animal. Cada una de ellas es resultado de aplicar diferentes metodologías.

Respecto a sus huellas y balances, el agro argentino tiene particularidades (ventajas y desventajas) que deben ser analizadas con un criterio de inteligencia estratégica.

Sin duda, debido a la crisis climática global, la Huella de Carbono ocupa la primera posición en el ranking de prioridades. Desde una perspectiva del interés nacional, no necesariamente la huella de carbono de nuestros productos, estimada a través de los métodos convencionales, favorece los intereses de la Argentina. Esto se debe a que las estimaciones están basadas prioritariamente en las emisiones, y no toman en cuenta el potencial de captura y almacenamiento de carbono de biomas importantes como las pasturas, los renovales boscosos o los humedales. Como factor de negociación, es necesario acoplar a estas evaluaciones de Huella de Carbono las estimaciones de Balance de Carbono de nuestros sistemas y regiones productivas (Viglizzo et al., 2019), ya que en ellas se contemplan tanto emisión como captura y almacenamiento.

La estimación de la Huella Hídrica presenta potencialmente ventajas para la agricultura argentina debido al peso relativo de las distintas fracciones de agua que forman parte del cálculo: agua verde (originada en la lluvia), agua azul (proveniente de cursos y fuentes de agua), y agua gris (agua contaminada). La Huella Hídrica del sector rural argentino está compuesta en un 90 % por agua verde, lo cual significa que todavía no compite con otros sectores económicos o sociales por los recursos de agua azul o agua gris, como ocurre en países industrializados o densa-

mente poblados (Zárate et al., 2014). La competencia por agua azul solamente adquiere relevancia en áreas de regadío.

Una tercera huella relevante para el país es la Huella Forestal, que puede ser evaluada desde dos ángulos: la deforestación y la forestación comercial. Argentina ha sido señalada internacionalmente (Global Forest Watch, 2021) como un país que ha perdido áreas de bosques nativos entre 2000 y 2020, con las previsibles implicancias ecológicas, ambientales y sociales que la deforestación acarrea. Sin embargo, luego de un máximo de deforestación alcanzado a mediados de ese período, el proceso se invirtió y la tasa de pérdida de área forestal decreció significativa y persistentemente, año a año, desde entonces (Ricard et al., 2021). Argentina, en cambio, está estancada en la incorporación de nuevas tierras destinadas a bosques comerciales, con lo cual se resigna, además de la actividad comercial, un importante sumidero de carbono para el país.

Generalmente la problemática de los nutrientes y plaguicidas se analizan en los países industrializados en función del potencial de contaminación del agua, el suelo y el aire de estos insumos. Contrariamente a lo que sucede en países de agricultura intensiva que ven contaminados sus ambientes por un uso excesivo de nutrientes, en las producciones extensivas de Argentina ocurre un proceso inverso. Nuestras tierras tienden a mostrar balances negativos de nutrientes especialmente en las áreas de mayor aptitud agrícola. No obstante, existen problemas de contaminación puntual por nutrientes en establecimientos de ganadería intensiva, como feedlots y tambos. O sea, en referencia a los nutrientes, es necesario abordar dos problemáticas igualmente serias pero opuestas: una que genera contaminación por excesivo uso de nutrientes, y otra que pierde nutrientes por fertilización insuficiente. Respecto al uso de plaguicidas, nuestro sector rural tiene margen para mejorar considerando que es señalado por su alta tasa de utilización de principios activos de plaguicidas de síntesis

química. No obstante, esa condición que mostró una tendencia creciente desde los años 1990, comenzó a revertirse en el año 2010. Desde entonces, el uso de plaguicidas sintéticos declina persistentemente en el agro argentino (Viglizzo, 2021).

Puesta en valor de las ventajas ambientales históricas del agro argentino

Más allá del cálculo de Huellas y Balances, el sector agropecuario argentino acredita valores intangibles que deben ser rescatados. Varios sistemas conocidos de producción poseen atributos de valor que pueden ser vinculados a denominaciones de origen y a certificaciones ambientales verificables. En tiempos de alta sensibilidad global a los problemas ambientales, es necesario poner en valor aquellos sistemas que gozan de ventajas ambientales, históricas y culturales dentro del agro argentino. Al menos cuatro de ellos resultan particularmente valiosos:

1) El sistema mixto pampeano: El sistema mixto típico de la pradera pampeana, que integran en rotación áreas de pasturas y cultivos anuales, tiene una larga y exitosa historia de más de 100 años. Es un sistema estable que ha mostrado empíricamente ser sustentable en lo ecológico, lo ambiental, lo económico y lo social a través de muchas décadas. Con un uso relativamente bajo de insumos, es un sistema productivo diversificado que goza de varias ventajas: disipa riesgos, recicla nutrientes, minimiza el uso de fertilizantes y fármacos, quiebra el ciclo biológico de malezas e insectos, reduce el uso de plaguicidas, promueve la actividad microbiana del suelo y favorece el almacenamiento de carbono en la biomasa y el suelo. Es necesario cuantificar con más precisión estos atributos para ponerlos en valor.

2) La ganadería extensiva: Se intensifica la crítica de los países industrializados a los sistemas ganaderos estabulados, con alta densidad de cabezas, que generan estrés y conspiran contra el bienestar

animal, aumentan la incidencia de enfermedades y el uso de fármacos y utilizan una alimentación con elevada huella de carbono. Varios de estos problemas no están presentes en la ganadería extensiva, en los cuales los animales pastorean libremente, se diluye la incidencia de parásitos, se consumen menos fármacos, el animal selecciona su propia dieta, y se reciclan grandes volúmenes de biomasa que no es comestible para humanos y otras especies animales. Eso favorece la captura y almacenamiento de carbono y preserva la vida microbiana de los suelos. En general, estos sistemas no compiten por tierra con la agricultura, y se encuentran diseminados en varias regiones semiáridas del país. La producción animal de estos sistemas puede ser certificada con relativa facilidad y “vendida” en mercados que valoran estos atributos.

3) Los sistemas de ganadería de rumiantes en zonas áridas y marginales: Los rumiantes son particularmente útiles para valorizar tierras marginales áridas en donde la escasez de agua impide introducir cultivos y donde el alto contenido de fibra de sus pastos nativos impide criar animales no rumiantes. Los lugareños cuentan con los rumiantes casi como única opción para acceder a productos de alto valor nutricional como la carne y leche, y como proveedores de lanas, cueros y otros productos útiles que se utilizan con varios fines. La remoción de los rumiantes puede generar, a una escala territorial amplia, más problemas que soluciones en esas regiones marginales. Es necesario diseñar políticas que valoricen y favorezcan el manejo de esos sistemas ganaderos extensivos que cumplen una función ambiental, social y económica muy definida.

4) Tierras de alto valor ecológico: Existen importantes regiones y zonas de Argentina en las cuales existen tierras de alto valor ecológico que integran mosaicos de vegetación y paisajes con diferente forma y tamaño. Pueden encontrarse en bosques nativos no degradados, arbustales leñosos, bosques ribereños, pastizales naturales, islas y corredores de vegetación nativa en tierras ganaderas o agrícolas, y humedales permanentes o transitorios. La alta diversidad

de hábitats y de especies vegetales y animales contribuye al buen funcionamiento de esos ecosistemas, y conforman una reserva de servicios ecosistémicos esenciales como polinización, regulación del agua y el clima local, captura y almacenamiento de carbono, protección del suelo, etc. Se debe promover (y aún subsidiar) el balance entre la conservación de estos hábitats y la producción agrícola y ganadera. Sus productos pueden ser certificables con relativa facilidad e ingresar a mercados de alta valoración ambiental.

Un párrafo aparte merece la aplicación de buenas prácticas. La investigación, la innovación y la difusión de buenas prácticas agro-ambientales son una tradición reconocida en Argentina, y deben ser un núcleo central en cualquier estrategia destinada a promover la buena salud productiva y ambiental en el sector rural argentino. Van más allá del ámbito académico y científico, integrando sectores de la producción, el comercio, la capacitación no formal, los medios de comunicación, las ONG, etc. No pueden promoverse buenas prácticas que se comporten como un “talle único” aplicable a todos los ambientes. Deben adecuarse a las características ecológicas, ambientales, económicas y sociales de cada zona o región. El desarrollo y difusión de buenas prácticas debe favorecer el intercambio entre los propios productores, aprovechando la experiencia de organizaciones exitosas, tanto de las privadas AACREA o AAPRESID, y de las públicas como Cambio Rural. El apoyo de estas estructuras es clave para dar consistencia institucional a las políticas ambientales del sector.

Más allá de poner en valor experiencias históricas exitosas, es además necesario definir políticas efectivas para el sector forestal. Argentina es signataria de los Objetivos del Desarrollo Sustentable de las Naciones Unidas para el año 2030 y del Acuerdo de París que impulsa la protección, restauración y gestión sustentable de los bosques del planeta. El Objetivo número 15 del Desarrollo Sustentable de NU recuerda que las áreas forestales en el mundo decrecían a comienzo de la década del 2020 a una tasa de 10 mi-

llones de hectárea por año, y que el desafío de reducir la deforestación genera compromisos globales que los países deben asumir y cumplir. Este asunto no puede ser ignorado en una estrategia nacional. Es necesario recordar que la doctrina de la Diligencia Debida que los europeos impulsan a escala global busca asegurar que los productos que se comercialicen en el futuro provengan de regiones libres de deforestación. Esto responde a una clara política que intenta desestimular la deforestación importada y fomentar las importaciones que no sean causa y efecto de deforestación en otros países o regiones del mundo.

Otro aspecto que requerirá creciente atención es aquel referido a residuos y desperdicios alimentarios, y la circularidad económica que impone el reciclado de ese recurso. Se incluye aquí el reciclado de Packaging (empaquetado). Globalmente, se produce suficiente alimento para alimentar una población de 10.000 millones de habitantes. Sin embargo, con 8.000 millones de personas en 2022, aproximadamente 700 millones sufren hambre, y dentro de ellos 150 millones son niños. Se estima que el 17 % de los alimentos disponibles se desperdician en distintos estadios de la cadena alimentaria. Además, la pérdida y desperdicio de alimentos contribuyen significativamente a la emisión de gases de efecto invernadero. De acuerdo a datos del UNEP Food Waste Index, con 116 kg/habitante/año, Argentina se ubica en la décima posición mundial en materia de desperdicios de alimentos. No obstante, junto a Australia, Canadá y EEUU, Argentina se comprometió a implementar un plan para reducir las pérdidas alimentarias en un 50% para el año 2030. Nuevamente, hay un compromiso internacional a cumplir.

Las emisiones de metano son otro capítulo ambiental que impone definiciones. La UE es uno de los principales promotores del Methane Global Pledge (Compromiso Global sobre el Metano). La agricultura, la ganadería y los desechos alimentarios son señalados, entre otros, como factores antropogénicos que explican las emisiones de metano. La iniciativa europea, que cuenta con

110 países firmantes, comprende un compromiso de reducción del 30% de las emisiones de metano para el 2030 respecto a los niveles de 2020. Se estima que esos compromisos reducirían en 0.2 °C la temperatura global en 2050. Aunque esto es indemostrable dentro de las evidencias disponibles, vale señalar que las emisiones totales del sector agropecuario argentino suman menos del 0.15 % de las emisiones mundiales. Y que porcentualmente esas emisiones tienden a declinar de manera persistente a causa de la quema creciente de combustibles fósiles. En tal contexto, ¿qué validez tendría un esfuerzo extra del sector rural argentino para reducir sus emisiones de metano? El resultado global sería insignificante. El sentido común indica que ningún gobierno nacional debería asumir compromisos a costa de comprometer la propia producción agropecuaria del país.

Otro aspecto a prestar atención futura se asocia a la sustentabilidad del transporte. Las emisiones globales atribuidas al transporte (por tierra, aire, marítimo) representan un porcentaje significativo (aproximadamente 14 %) de las emisiones totales de gases de efecto invernadero y la tendencia es al aumento. Cualquier meta de carbono-neutralidad exige cambios de envergadura en el sector del transporte, que explican un 15 % de las emisiones totales del país (SAyDS, 2020). Este es un aspecto a considerar en una estrategia ambiental futura, ya que distintos medios de transporte imponen distinto impacto ambiental.

Referencias

- Bryan, B.A., Gao, L., Ye, Y., Sun, X. et al. (2018). China's response to a national land-system sustainability emergency. *Nature* 559: 193-204. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0280-2>
- Clark, M. , Springmann, M., Rayner, M. , Scarborough, P., Hill, J., Tilman, D. et al. (2022). Estimating the environmental im-

- pacts of 57,000 food products. PNAS 2022 Vol. 119 No. 33 e2120584119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2120584119>
- Comisión Europea (2022). Un Pacto Verde Europeo. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es
- Donham, J., Wezel, A. (2022). 10 Steps to Achieve the European Green Deal. AE4EU. <https://www.agroecology-europe.org/wp-content/uploads/2022/08/Position-Paper-EU-Green-Deal-AE4EU-1.pdf>
- Global Forest Watch (2021). Maps and data. <https://www.globalforestwatch.org/>
- Idígoras, G (2022). Cámara de la Industria Aceitera de Argentina (CIARA). Diálogo Chino. <https://dialogochino.net/es/agricultura-es/62061-argentina-impulsa-la-trazabilidad-de-la-soja-para-garantizar-deforestacion-cero/>
- Marks, R. B. (2017). China: Its Environment and History. Lanham: Rowan & Littlefield Publishers, Inc., 2012 ISBN: 9781442212756.
- Musicus, A.A., Wang, D.D., Janiszewski, M., Eshel, G., Blondin, S.A., Willett, W., Stampfer, M.J. (2022). Health and environmental impacts of plant-rich dietary patterns: a US prospective cohort study. Lancet Planet Health: 6: e892–900.
- Papendiek, S. (2021). Análisis de la estrategia ambiental de la UE en alimentos con implicancias en el comercio internacional. Grupo de Países Productores del Sur (GPPS). <https://grupogpps.org/documentos-institucionales/>
- Ricard, M.F, Mayer, M.A., Viglizzo, E.F. (2021). The impact of beef and soybean protein demand on carbon emissions in Argentina during the first two decades of the twenty-first century. Envir Sci and Pollution Res <https://doi.org/10.1007/s11356-021-16744-8>

SAyDS (2020). Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero y Monitoreo de Medidas de Mitigación. Secretaría de Gobierno de Ambiente y Desarrollo Sustentable.

<https://inventariogei.ambiente.gob.ar/>

UNEP Food Waste Index (2021). wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/35280/FoodWaste.pdf

Viglizzo, E.F., Ricard, M.F., Taboada, M.A., Vázquez Amábile, G. (2019). Reassessing the role of grazing lands in carbon-balance estimations: Meta-analysis and review. *Science of the Total Environment* 661: 531–542.

Viglizzo, E.F., Piñeiro, M. (2019). Trade, food security and the comparative environmental advantage of food-producing countries. *Global Solutions (G20 Journal)* 4: 147-155.

Viglizzo, E.F. (2021). Diagnóstico y Mega-tendencias Ambientales del Sector Agropecuario en la Región MERCOSUR. Grupo de Países Productores del Sur (GPPS). 44 pp. <https://grupogpps.org/contribuciones-de-la-red/>

Wiedmann, T., Lenzen, M. (2018). Environmental and social footprints of international trade (Review article). *Nature Geoscience* 11: 314-321.

Zárate, E., Aldaya, M., Chico, D., Pahlow, M., Flachsbarth, I., Franco, G., Zhang, G., Garrido, A., Kuroiwa, J., Pascale-Palhães, J.C., Arévalo, D. (2014). Water and agriculture, In: Willeaarts, B.A., Garrido, A., Llamas, M.R. (Eds.), *Water for Food and Wellbeing in Latin America and the Caribbean. Social and Environmental Implications for a Globalized Economy*. Routledge, Oxon and New York, 432 pp.

Capítulo 12

Integración de la problemática ambiental a la producción agropecuaria Argentina

Emilio H. Satorre

Introducción

La problemática ambiental es un fenómeno inherente a la actividad productiva y comercial del hombre. Sostener y aumentar la productividad del sector agropecuario y minimizar sus impactos negativos sobre el suelo son procesos que han convivido con el desarrollo de las sociedades a lo largo de la historia en el mundo y en Argentina. Algunos perjuicios derivados de la actividad agropecuaria tienen cerca de 6000 años en la historia de la humanidad y han sido bien documentados desde entonces. La salinización y la erosión de suelos fueron problemas frecuentes en muchas civilizaciones. A modo de ejemplo, en la antigua Mesopotamia de Asia mediterránea, hace más de 6000 años el riego de los campos condujo a la salinización de los suelos haciéndolos improductivos para la agricultura después de una explotación muy intensiva; esto resultaría en que esas tierras fueran abandonadas.

En Argentina, fueron evidentes signos de deterioro ambiental en los suelos por la explotación ovina en las tierras de la Patagonia y, posteriormente, por la agricultura en la región pampeana luego de la primera gran expansión de la frontera agropecuaria,

ocurrida entre fines del siglo XIX y las primeras décadas del siglo XX. En ambos casos, los signos de la degradación de tierras fueron evidentes tanto en la pérdida de productividad de los pastizales patagónicos y el avance de la desertificación, como en la erosión eólica en el Oeste de Buenos Aires y Este de las provincias de La Pampa y en la erosión hídrica observable en el Este pampeano. En el Oeste Pampeano, el avance de los médanos producto de la erosión eólica fue la razón que dio inicio al funcionamiento de los primeros grupos CREA en 1956 y a la creación de AACREA (Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola; www.crea.org.ar) en 1960. Sin embargo, mientras estos procesos ocurrían, políticas orientadas a la expansión de la producción agropecuaria y de su productividad fueron cristalizadas en la creación del INTA (1957) con la clara misión de "...impulsar, vigorizar y coordinar el desarrollo de la **investigación y extensión agropecuaria** y acelerar, con los beneficios de estas funciones fundamentales, la tecnificación y el mejoramiento de la empresa agraria y de la vida rural". La producción agropecuaria fue, desde las primeras colonias, un motor de desarrollo de comunidades a lo largo y ancho del país.

En Argentina, a partir de los años 60, a la degradación de los suelos por erosión o salinización se suma otro signo de impacto ambiental, esta vez asociado a tecnologías modernas. El uso de productos de síntesis como insumos en la producción agropecuaria consolida un modelo productivo industrial, apoyado en el uso de fertilizantes y fitosanitarios. Esto, aumenta la atención del impacto de estas tecnologías sobre la salud humana y el ambiente y daría origen a nuevos procesos productivos con impacto ambiental. Entre ellos, en el mundo los primeros rastros de pesticidas clorados son identificados en la cadena alimentaria y las respuestas a la expansión de un modelo productivo apoyado en tecnologías de insumo fueron inmediatas. Sin embargo, el éxito de estas tecnologías incrementando la productividad de los principales alimentos fue

incuestionable, permitiendo que la mejora en la producción agropecuaria pudiera acompañar el crecimiento poblacional y echara por tierra las peores predicciones de la teoría maltusiana.

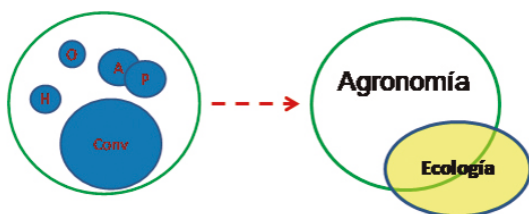
Mientras esto tenía lugar, desde la revolución industrial surgieron debates que intentaban identificar, especialmente en la agricultura, procesos como base o fundamento al desarrollo de sistemas productivos alternativos. Muchos de ellos se identificarían como alternativos al modelo dominante, particularmente desde la segunda mitad del siglo XX. Sin el ánimo de hacer una recopilación exhaustiva, entre ellos, podrían mencionarse: (i) los sistemas de agricultura orgánica, también llamada agricultura biológica o ecológica que establecería normas o procesos certificados para que los alimentos accedieran a esa denominación; (ii) la agricultura biodinámica, centrada en procesos tales como el reciclado de nutrientes y el flujo cerrado de energía; (iii) la permacultura, sobre ideas originalmente desarrolladas en Australia, caracterizada por el sostenimiento de hábitats y la diversidad de especies; (iv) la agricultura sustentable, concepto que comienza a moldearse a partir de la década de 1980 como una corriente para desarrollar agricultura basada en principios ecológicos; (v) la agricultura agroecológica que, como un derivado de (iv) en Argentina aparece buscando establecer límites y una denominación y principios que se tienden a alejar de una visión científica de la producción. Al presente, en la búsqueda de nuevos modelos productivos, muchos autores han coincidido en identificar los efectos del modelo agrícola tecnificado en insumos y procesos y propuesto una transición agro-ecológica a modelos sostenibles incorporando tecnologías y procesos apoyados en conocimiento.

Es importante reconocer que los sistemas productivos dominantes y alternativos son parte de una misma disciplina. La producción agropecuaria se organiza como disciplina científica en la agronomía, para estudiar y aplicar, respectivamente, prácticas para producir alimentos, fibras y energía en cantidad y calidad adecua-

da para satisfacer los requerimientos de las poblaciones. Desde su origen como disciplina científica hace algo más de 200 años, la agronomía ha incorporado incesantemente nuevos campos de conocimientos y, vale notar su relativa juventud; en Argentina la primera y más antigua Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales fue fundada en La Plata recién en 1894. En el mundo académico, la agronomía reúne conocimientos de las ciencias básicas, la ingeniería, la genética, la fisiología, la ecología, la sociología y varias otras disciplinas desde hace relativamente poco tiempo. En relación con el ambiente, los modelos aquí llamados dominantes y los alternativos se han movido y mueven en un universo agronómico en el que deberían predominar las buenas prácticas, tales como rotación, manejo de la fertilidad de los suelos, el manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades, entre otras, que pueden ser aplicadas en distintos contextos y sistemas. En gran medida, cabe mencionar que todas las posibles alternativas de sistemas productivos, al final del camino buscan producir sosteniblemente. De hecho, la agricultura sostenible es **buena agronomía**, por lo que una discusión centrada en una denominación o etiqueta pierde relevancia (Figura 1). La buena agronomía debe ser convalidada a partir del resultado de sus prácticas sobre la mejora de la productividad y sus efectos sobre el ambiente y la salud y desarrollo de la sociedad.

Una agricultura sostenible es una que, en el largo plazo, mejora la calidad ambiental; provee a las necesidades humanas básicas de alimentos, energía y fibras; es económicamente viable y realza la calidad de la vida para los productores y de la sociedad en su totalidad. Esta definición de sostenibilidad, propuesta por la Comisión Bruntland (FAO, 1987), busca poner la atención en los riesgos asociados a la actividad humana e incentivar la búsqueda de caminos que atenúen los impactos de la actividad productiva. En tiempos recientes la búsqueda de modelos agropecuarios sostenibles ha sido creciente y, en esta búsqueda el marco conceptual de una **agricultura sostenible** es, sin duda, «hacer o producir» desde la buena práctica de la agronomía.

Figura 1. La agricultura sostenible es buena agronomía. Representación esquemática del área de conocimiento y manejo agronómico y su relación con distintos modelos de producción (izquierda) y la ecología (derecha). Las iniciales en los círculos interiores identifican modelos, desde el convencional (conv) y alternativos.



El marco conceptual de una **agricultura sostenible es, entonces, «hacer o producir alimentos» desde** una buena agronomía apoyada en conocimiento científico y/o experiencia científicamente validada. La ciencia ha permitido cambios culturales de magnitud en las prácticas productivas del agro; a modo de ejemplo: entre las disciplinas que han contribuido recientemente al desarrollo de las prácticas de los cultivos, la ecofisiología fue de gran importancia, brindando los saberes necesarios para mejorar el funcionamiento de los cultivos y su productividad en ambientes diversos. En Argentina la producción de maíz en siembras tardías, que hoy ocupa cerca del 50% del área sembrada con el cultivo fue producto de cambios tecnológicos (genética) y de un sólido conocimiento del funcionamiento de la especie (ecofisiología). Del mismo modo, en el marco de una agricultura sostenible, la ecología, como ciencia madura, debería adquirir preeminencia contribuyendo a mejorar la dinámica del sistema productivo y sus procesos en el tiempo y el espacio (ej. a escala de paisaje).

La actividad agropecuaria es una actividad productiva y no sería adecuado evaluarla por sus efectos sobre el ambiente al margen de esta condición. La conservación improductiva de un ambiente

o con alto costo productivo puede tener mayores y serias implicancias sobre las comunidades que dependen de esta actividad. Desde este contexto y análisis, este capítulo presenta muy brevemente los principales y necesarios puntos de consenso que se deberían explorar para poder integrar a la actividad productiva y el manejo del ambiente, desacoplando la mejora o sostenimiento productivo del posible impacto ambiental. Las **tecnologías de la agricultura** son la base del conflicto (de su insostenibilidad) por ello, el capítulo describe una serie de prácticas, es decir formas de hacer en la actividad, que podrían contribuir a equilibrar algunos de los puntos de consenso, especialmente si son integradas a la producción agrícola extensiva.

Los puntos de consenso

A pesar de las diferencias entre sistemas o visiones de los rumbos sobre el camino que debería transitar la producción agropecuaria y, especialmente, la agricultura extensiva en Argentina, se han identificado varios puntos de consenso sobre los que trabajar. Entre ellos, los más importantes son:

- (1) que la agricultura tiene que ser más productiva y eficiente en el uso de los recursos.
- (2) que los procesos biológicos que afectan la productividad agrícola del agro-ecosistema deberían estar controlados en mayor medida por factores de regulación internos, antes que por insumos externos (subsidios al decir de la ecología). El foco debería ponerse en el valor de las tecnologías de procesos y en el conocimiento como motor de innovación y transformación.
- (3) que el ciclo de los nutrientes dentro de los lotes y establecimientos debería ser más cerrado o recuperado; es decir, que una mayor proporción de los nutrientes deberían provenir del **flujo** desde y hacia la materia orgánica (de un manejo de

la materia orgánica) y del ciclado de los recursos del suelo antes que del manejo de la **solución** de nutrientes del suelo por fertilizantes.

- (4) que diversos procesos deben ser incorporados e integrados para minimizar el impacto ambiental y social, desacoplando la productividad de los sistemas de cultivo de su impacto ambiental. No hay un proceso simple capaz de dar solución a los múltiples y complejos problemas que enfrenta la producción de alimentos y tanto a las sociedades, como al ambiente.

Las prácticas y su impacto sobre el agro-ecosistema y el ambiente

Con su intervención en un lote productivo, el hombre ha modificado el paisaje natural y creado un tipo particular de ecosistema, el agro-ecosistema. En este nuevo sistema, el hombre es un componente y una variable esencial ya que a través de sus prácticas de manejo influencia en la composición, funcionamiento y estabilidad de ese nuevo sistema. Como se ha mencionado arriba, las demandas de la sociedad y los gobiernos nacen de la influencia de las prácticas y tecnologías productivas sobre funciones y servicios que en líneas generales derivan en sistemas más simples, menos diversos pero más productivos a los objetivos de la economía de la sociedad.

En relación a los puntos de consenso indicados en la sección anterior, aunque con variabilidad, los sistemas agropecuarios suelen tener menor complejidad estructural y la organización espacial de sus componentes orgánicos es más simple y tiene menor capacidad de alojar una alta biodiversidad respecto a sistemas naturales en ambientes semejantes. Asimismo, la energía se canaliza a través de menor cantidad de cadenas alimentarias, más cortas y una función esencial de los sistemas naturales, el ciclado de nutrientes, es reducida. En la mayor parte de los agro-ecosistemas una relativamente pequeña proporción de la energía de la biomasa pasa a la vía de detritos o descomponedores en el suelo y su pool energético es mucho

menor que en sistemas naturales. En términos energéticos, el flujo de energía está fuertemente concentrado y los ciclos de nutrientes están reducidos. Un contraste importante ecológicamente es que los agro-ecosistemas (sistemas agropecuarios) son sistemas más abiertos que los naturales. Tienen un mayor número y volumen (o equivalentes energéticos) de ganancias (es decir, entradas, generalmente vía insumos) y pérdidas (es decir, salidas vía cosecha).

Por muchos miles de años la agricultura se desarrolló sobre sistemas agropecuarios de baja productividad y bajo nivel de insumos (mayormente trabajo humano y animal). En la actualidad, gran parte de los sistemas productivos en economías abiertas, que exportan sus productos agropecuarios, tienen mayor dependencia de labores mecanizadas, fertilizantes y fitosanitarios, aumentando la intervención humana y el potencial riesgo sobre el ambiente. Entre los posibles perjuicios ambientales de la actividad agropecuaria suele mencionarse la contaminación, emisión de gases de efecto invernadero, degradación física, química y biológica de los suelos y potencial pérdida de servicios (por ejemplo, mineralización, polinización, purificación de agua, esparcimiento, etc) y alteraciones en la dinámica del agua que aparecen asociados directa e indirectamente a la calidad de vida de la sociedad.

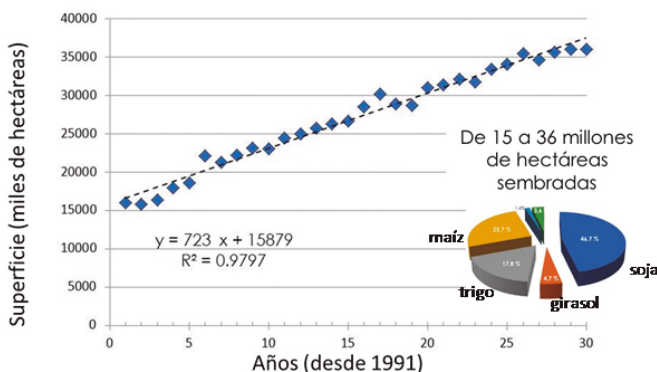
Atenuar los riesgos asociados a estos impactos negativos es el camino por el que transita la producción agropecuaria luego de haber experimentado en Argentina transformaciones de gran magnitud en los últimos 40 años.

La producción agropecuaria y sus cambios recientes: Una mirada a la situación Argentina

Es reconocido que una primera transformación productiva condujo al desarrollo agropecuario del país hacia fines de siglo XIX y principios del siglo XX. Luego, el país agropecuario permaneció muy estable hasta bien entrada la segunda mitad del si-

glo XX cuando esa situación cambió, a partir de los años 80. Un proceso de transformaciones tecnológicas y expansión agrícola de grandes proporciones acompañó a la agricultura reciente del país, poniendo en marcha una segunda revolución productiva (Figura 2). Una medida de esa transformación se refleja en la magnitud de los cambios en el área sembrada con cultivos extensivos: en el período 1991 -2021 se incorporaron cerca de 723.000 has de cultivo por año (Figura 2).

Figura 2- Cambios en la superficie sembrada con cultivos de grano en el período 1991-2021 en argentina. La figura de tortas interior muestra la proporción del área total ocupada con las 4 especies principales en la campaña 2021. Fuente: Elaboración propia sobre datos de SIIA (www.siiia.gov.ar).



Algunas características de los cambios durante la expansión reciente de la agricultura fueron:

- (i) La velocidad con que ocurrieron y la creciente velocidad de incorporación de tecnologías y procesos tecnológicos que elevan a modo de ejemplo, la producción de granos desde 35 millones a casi 140 millones de toneladas de granos.
- (ii) El acercamiento de las inter-fases de contacto (espacial y social) entre los medios rurales y urbanos. Por un lado las

ciudades crecen sobre las tierras productivas y, al mismo tiempo, la producción se expande acercándose y haciéndose visible a las cada vez más grandes comunidades.

- (iii) Los actores productivos cambian; el productor pasa de hombre de campo a empresario de campo. Aparecen nuevos actores clave tales como los contratistas, los productores sin tierra, bajo la forma de pooles de siembra, entre otros. La dinámica reciente de la actividad y el perfil de los nuevos actores aleja del terreno (lote) al hombre de campo, que desarrollaba una actividad local, para convertirlo en un empresario multi-regional, con participación y acción en diferentes áreas productivas.
- (iv) En el proceso de transformación y expansión de nuevas tecnologías, cada cambio o tecnología incorporada en este período generó nuevos y complejos problemas. Los problemas inherentes de la actividad, entonces, cambian y la «práctica» usual para resolverlos no sirve o sólo sirve parcialmente.

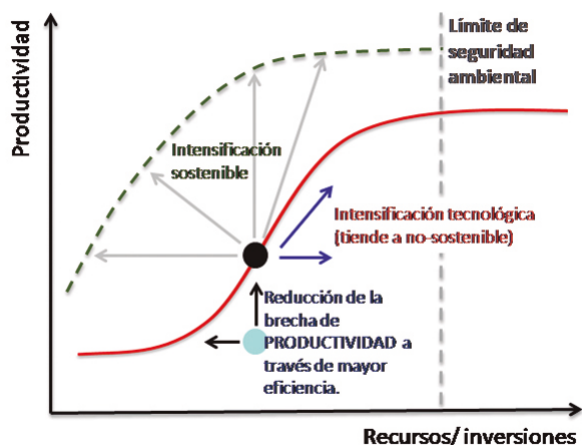
Por ello, en forma creciente a partir de la segunda década del siglo XXI, aparecen las primeras reacciones y respuestas a las señales arriba descritas desde las sociedades. Nuevas regulaciones intentan, sin fundamento científico en muchos casos, establecer límites a procesos y tecnologías. Así, en un amplio sector del mundo rural y en la sociedad toda, la atención se mueve hacia la sostenibilidad del proceso productivo y sus sistemas. Los productores agropecuarios en primera instancia, adoptan e incorporan prácticas que atienden el cuidado del impacto ambiental y ponen en agenda el compromiso social de su actividad económica. Las señales del cambio hacia afuera de los establecimientos y los nuevos desafíos a enfrentar, configuran la necesidad de una búsqueda hacia nuevo modelo productivo que permita por un lado el desarrollo armónico del individuo con su actividad y, por el otro el de su actividad con los ejes sociales, ambientales y económicos que confluyen para lograr una producción sostenible.

Por un lado, se reconoce que el hombre «desde y en el campo» integra su vida entre tres esferas de incumbencia. Una esfera individual, que atiende su desarrollo personal en el propio contexto cultural y de valores en que transcurre su vida (vivir); otra esfera social, en las que el hombre atiende las necesidades de su naturaleza social, participando en y para las comunidades rurales y cabeceras de partido fuertemente vinculadas a su actividad. Una tercera esfera (hacer en la actividad) incorpora los aspectos que hacen al desarrollo profesional del individuo y la relación con su actividad (producir). De hecho, la búsqueda de sostenibilidad desde las empresas y el empresario ligado al sector agropecuario comienzan a incorporar procesos que balancean los conflictos entre estas tres esferas del desarrollo personal, a la vez que introduciendo nuevas prácticas y acciones que tienden a inclinar la actividad a un camino con trayectorias sostenibles. El modelo productivo atiende el equilibrio entre producción y ambiente y comienza a reconocer el compromiso entre ambos elementos esenciales a la actividad.

Productividad y sostenibilidad

Como ya se ha mencionado anteriormente, la búsqueda de productividad es inherente a la actividad agropecuaria. No es posible referirse a la sostenibilidad de la actividad agropecuaria al margen de que esta sea productiva. Pero, la actividad agropecuaria, cuando es extensiva, a cielo abierto, es fuertemente dependiente de los recursos del ambiente; estos definen límites biofísicos de productividad y su variabilidad. La relación universal entre la oferta de recursos ambientales y la productividad es una función sigmoidea, en forma de “ese” (Figura 3), dónde los límites alcanzables de productividad aparecen ligados a la disponibilidad de recursos ambientales y a la relación que se establece con las prácticas de manejo para lograr el rendimiento (producción) de los diferentes sistemas.

Figura 3- Relación entre la oferta de recursos (ambientales e insumos) y la productividad de un cultivo (línea roja). Ver texto por detalles. Adaptado de Tittonnell, 2019; disertación en curso FUNDACREA.



En general, existen amplias y variables brechas de rendimiento entre lo que se produce en un ambiente particular y los posibles rendimientos alcanzables con esa oferta (Ver distancia entre el punto celeste y negro en Figura 3). Mejores prácticas de manejo pueden contribuir a cerrar esa brecha y mayor oferta de recursos vía insumos (ej. fertilizantes) pueden contribuir a aumentar la productividad (flechas azules, Figura 3). La aproximación al aumento de la productividad a través de un mayor uso de insumos consolida un modelo productivo que es convencional y que podría incorporar riesgos ambientales e ineficiencias, ya que es necesario incorporar cada vez mayor cantidad de recursos para lograr incrementos de rendimiento cada vez menores. Es posible que acciones descontroladas en esa dirección acerquen rápidamente los sistemas a un límite ambiental intolerable. Superando ese límite el deterioro ambiental por contaminación o degradación del suelo, a modo de ejemplo, se incrementaría. Un enfoque sostenible, por su parte,

debería tender a producir modificaciones sistémicas con la incorporación de prácticas fuertemente apoyadas en conocimiento. Este enfoque permitiría producir un salto de curva, es decir alcanzar un nuevo nivel de productividad con la misma oferta de recursos o, en su defecto mantener el nivel de productividad reduciendo la oferta y manejo de insumos en el sistema (línea punteada y flechas grises en la Figura 3). Este último enfoque, busca intensificar la intervención del hombre a través del manejo de procesos y la incorporación del conocimiento agronómico. Así, manejo de procesos y conocimiento se vuelven factores de producción clave en una búsqueda de ejes que conduzcan a una mayor sostenibilidad de los sistemas de producción agropecuarios.

El diagnóstico e indicadores de sostenibilidad

Resulta claro que un primer paso para promover acciones que permitan alcanzar niveles sostenibles de productividad es diagnosticar la condición de los sistemas productivos en diferentes ambientes. Resulta difícil saber adónde se debe o cómo se puede ir, si no se sabe dónde se está: en una primera instancia proyectos que permitan cuantificar la brecha productiva de los sistemas o sus márgenes de mejora así como sus prácticas de manejo debieran ser promovidos. Sin embargo, son escasos los trabajos que, en el país han encarado esta tarea, al menos de una manera más o menos ordenada. Hecho el diagnóstico, las prácticas que se pueden adoptar son múltiples.

Los diagnósticos pueden realizarse a diversas escalas: país, región, localidad, establecimiento, lote. La escala puede definir acciones propias de un sistema de cultivo (local) o sistema agropecuario (regional) y el alcance o posibilidades del diagnóstico para la formulación de políticas o cambios. Como el impacto del sector depende de decisiones individuales tomadas en la escala de establecimiento, por simplicidad y operatividad, a continuación me

referiré a acciones que reflejan o impactan el estado de un sistema en esa escala. En el lote o ambiente productivo distintos elementos del sistema y el ambiente expresan atributos de su funcionalidad y son indicadores del estado de salud del mismo tal que pueden ser utilizados como indicadores para una etapa de diagnóstico.

Por ejemplo, podría prestarse atención a indicadores de la condición del (i) Cultivo; evaluando propiedades tales como la productividad, estabilidad del rendimiento, eficiencia productiva (recursos) y económica, entre otros; (ii) Suelo; determinando la condición de superficie; porosidad; grado de erosión; salinización; permeabilidad (anegamiento); stock de C, entre otros; (iii) La dinámica de procesos biológicos; tales como el enmalezamiento, incidencia de plagas y enfermedades, impacto ambiental de su manejo, directa e indirectamente a través del uso de procesos de regulación biológica o fitosanitarios, de valores de índices de peligro eco-toxicológico (ej, EIQ o ProRipest) o productivo (carryover); (iv) El ciclo de nutrientes y dinámica del agua; por ejemplo, a través de la condición nutricional de las especies y el balance de nutrientes estratégicos en cultivos, del estado y balance de la materia orgánica del suelo, del aumento de áreas anegadas, entre otras; y (v) a través de externalidades; como la contaminación hacia dentro y fuera del establecimiento y la erosión, colmatación de fuentes de agua, pérdida de calidad de áreas de esparcimiento, huella de carbono o hídrica, entre otras.

Estos indicadores deberían ser partes de sistemas integrales de gestión ambiental de la actividad productiva. De hecho hay procesos de certificación de procesos por su impacto ambiental. Es de destacar el esfuerzo del sector productivo para, aunque aun tímidamente, incorporarse a esos procesos. Mientras tanto organizaciones de productores en Argentina, tales como AACREA han puesto en marcha sistemas integrales de gestión ambiental que permitan a sus miembros no sólo compararse productiva o económicamente, sino hacerlo en relación a la adopción de prácticas ambientalmente sostenibles. De hecho, empresas integrantes de un grupo CREA

en el Este de la provincia de La Pampa realizaron en la campaña 2020/21 su primera gestión ambiental midiendo varios indicadores clave en campos con rotaciones agrícolas y agrícolas-ganaderas (<https://www.crea.org.ar/nuestra-primer-gestion-ambiental/>).

En cualquier caso, la búsqueda de un nuevo modelo para cada una de las diferentes regiones productivas enfrenta desafíos. Es esperable que indicadores simples o prácticas aisladas sólo den respuestas parciales al dilema entre productividad y ambiente. Muchas prácticas aisladas, pueden tener efectos antagónicos. Sólo para indicar un ejemplo, esta posibilidad es sugerida al observar la fertilización fosfatada de soja como mecanismo para sostener la fertilidad del suelo y su relación con el rendimiento del cultivo: en general la mejora en rendimiento del cultivo ha promovido balances más negativos de este nutriente esencial del suelo. Sin embargo, aumentar el uso de fertilizante buscando neutralizar esta dinámica ha puesto en evidencia un uso ineficiente del fósforo en relación a la productividad del cultivo, aunque la pérdida aparente de fósforo desde el sistema se reduce debido a que dosis elevadas de fertilizante producen incrementos cada vez menores de rendimiento del cultivo. Es decir, el manejo de este nutriente aisladamente, apoyado sólo en uso de fertilizante, parecería indicar que sistemas productivos más sostenibles deberían serlo con menor eficiencia en el uso del recurso, lo que atentaría sobre el resultado productivo y, en el corto plazo, aumentaría el riesgo sobre el ambiente contaminando y eutrofizando fuentes de agua como ha ocurrido en cuencas de otras partes del mundo.

Comentario final

Avanzar o dirigir acciones para promover sistemas de producción agrícola sostenibles no será una tarea simple, se enfrenta un problema complejo que involucra muchas dimensiones. La práctica simple y la regulación sencilla probablemente pueden resultar operativas, fáciles de ejecutar y de poner en marcha, pero seguramente sean poco relevantes a la magnitud del dilema.

Un primer paso parece fundarse en reconocer que hay un universo de soluciones (prácticas y herramientas) diferentes para atender las características propias, ecológicas, sociales y económicas de cada región. El nivel tecnológico, la capacitación del sector, la digitalización de la agricultura ya contribuyen con una diversidad de alternativas a la producción y al ambiente en el sector. Sin embargo, es importante reconocer que las trayectorias hacia la sostenibilidad de un sistema suelen ser dinámicas, es decir variables en el tiempo y el espacio. Por ello, al enfrentar un problema complejo el tomador de decisión tiene un aliado en el conocimiento. Este es siempre una herramienta de gran valor y, en el país, hay muchos centros con excelentes investigadores y profesionales en los que apoyarse. La ciencia es, sin dudas, un aliado crítico en esta etapa de la historia y el desarrollo de la agricultura ha mostrado el efecto multiplicador de la ciencia tanto en la agronomía como en sus disciplinas asociadas.

La actividad agropecuaria ya no es una actividad privada. Aunque lo sea en la medida que las decisiones transcurren en los límites de una propiedad, sus efectos exceden (directa e indirectamente, así como positiva o negativamente) los límites del alambrado. Por ello, la agricultura toda y los tomadores de decisión enfrentan, en la búsqueda de sistemas sostenibles, un problema complejo que, sin dudas, generan y generarán nuevos compromisos, problemas y conflictos de distintos órdenes que harán necesario un enfoque integrado y multidisciplinario para abordarlos y hallar soluciones efectivas. Por difícil que parezca el camino es importante reconocer que, más allá de intereses particulares y/o sectoriales, la producción agropecuaria es y será un eje y actor central en la vida de nuestro país. Atender su productividad y la calidad de los ambientes es mantener un paso firme hacia el desarrollo sostenible de la Argentina.

Referencias

- Satorre, E.H. (1998). Aumentando los rendimientos de manera sustentable en la pampa. Aspectos generales. En: O.T. Solbrig & L. Vainesman (comp.) "Hacia una Agricultura mas Productiva y Sostenible en la Pampa Argentina". Harvard University - CPIA - Banco de la Nación Argentina. Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina. Pg 72-98.
- Satorre, E.H. (2005). Cambios Tecnológicos en la Agricultura Actual. Ciencia Hoy Vol 15 (87): 24-31.
- Satorre, E.H. (2012). Recent changes in Pampean agriculture: possible new avenues to cope global change challenges. En Slaffer & Araus (eds). Crop stress management & Climate Change, CABI Series Nº2 pg 47-57 (210 pp).
- Satorre, E.H y Andrade, F. (2021). Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años. Revista Ciencia Hoy Volumen 29 número 173: 19-27.

*Este libro se terminó de imprimir en agosto de 2023,
en PROsA Ediciones
info@prosaeditores.com.ar*