

CIENCIA HOY

Volumen temático 2

2017



CIENCIAS AGROPECUARIAS



Presidencia
de la Nación

Ministerio de
Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva



Ciencias Agropecuarias

CIENCIAHOY

Volumen temático 2



Ministerio de
Ciencia, Tecnología
e Innovación Productiva



CIENCIAHOY

Ciencias Agropecuarias

Volumen temático 2

2017

Publicado por: ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Editores del volumen

María Semmartin

Ifeva, UBA-Conicet
Profesora adjunta, FAUBA

Martín Oesterheld

Ifeva, UBA-Conicet
Profesor titular, FAUBA

Reservados todos los derechos. Ninguna parte del volumen puede reproducirse, por ningún método, sin autorización escrita de los editores.

Sede: Av. Corrientes 2835, cuerpo A, 5° A (C1193AAA) Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel.: (011) 4961-1824 y Fax: 4962-1330
Correo electrónico: contacto@cienciahoy.org.ar

<http://www.cienciahoy.org.ar>

® Asociación Civil Ciencia Hoy

Diseño y realización editorial

Estudio Massolo
Callao 132, EP (C1022AAO)
Ciudad Autónoma de Buenos Aires
Tel/fax: (011) 4372-0117
Correo electrónico:
estudiomassolo@gmail.com

Corrección

Mónica Urrestarazu

Las fotos de contratapa pertenecen en orden: Miguel Angel García, [Flickr.com/respnda](https://www.flickr.com/photos/respnda/); Colin C, [Flickr.com/colinsd40](https://www.flickr.com/photos/colinsd40/); Alejandro Sobrino, [Flickr.com/alexsobrino](https://www.flickr.com/photos/alexsobrino/); LSDSL, [Wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/); Romina Campos, [Flickr.com/berenicedecados](https://www.flickr.com/photos/berenicedecados/); Cecil Lee, [Flickr.com/jamain](https://www.flickr.com/photos/jamain/), [Wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/); Armin Kübelbeck, [CC-BY-SA, Wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/); Peppysis, [Flickr.com/peppysis](https://www.flickr.com/photos/peppysis/); Friviere, [Wikimedia.org](https://www.wikimedia.org/); Martín LaBar, [Flickr.com/martinlabar](https://www.flickr.com/photos/martinlabar/); Dick Culbert, [Flickr.com/dickculbert](https://www.flickr.com/photos/dickculbert/); United Soybean Board, [Flickr.com/usbboard](https://www.flickr.com/photos/usbboard/); [Flickr.com/twig_264](https://www.flickr.com/photos/twig_264/); CIFOR, [Flickr.com/cifor](https://www.flickr.com/photos/cifor/); Henrique Pinto, [Flickr.com/henriquepinto](https://www.flickr.com/photos/henriquepinto/); las siguientes tres son de Martín LaBar, [Flickr.com/martinlabar](https://www.flickr.com/photos/martinlabar/) y Juz, [Flickr.com/juzsan](https://www.flickr.com/photos/juzsan/). Todas con licencia Wikimedia Commons.

Semmartin, María Gisela
Ciencias agropecuarias : 1988-2017 / María Gisela Semmartin ; Martín Oesterheld ; compilado por María Gisela Semmartin ; Martín Oesterheld. - 1a ed compendiada. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Ciencia Hoy, 2015. 200 p. ; 28 x 21 cm.

ISBN 978-987-45584-1-1

1. Agricultura. 2. Agricultura Familiar. 3. Agricultura Sustentable. I. Semmartin, María Gisela, comp. II. Oesterheld, Martín, comp. III. Título. CDD 630

CIENCIAHOY



ISBN: 978-987-45584-1-1

Hecho el depósito que marca la ley 11.723

Este volumen temático está compuesto por una selección de artículos publicados en números pasados de la revista Ciencia Hoy. La producción intelectual y editorial fue responsabilidad de la Asociación Civil CIENCIA HOY (CH) con financiamiento del Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (Mincyt). La impresión de esta edición es fruto de la cooperación entre CH y la Asociación Argentina para el Progreso de las Ciencias (AAPC), con el apoyo económico de la Fundación Bunge y Born y del Mincyt.

ASOCIACIÓN CIVIL CIENCIA HOY

Es una asociación civil sin fines de lucro que tiene por objetivos: (a) divulgar el estado actual y los avances logrados en la producción científica y tecnológica de la Argentina; (b) promover el intercambio científico con el resto de Latinoamérica a través de la divulgación del quehacer científico y tecnológico de la región; (c) estimular el interés del público en relación con la ciencia y la cultura; (d) editar una revista periódica que difunda el trabajo de científicos y tecnólogos argentinos, y de toda Latinoamérica, en el campo de las ciencias formales, naturales, sociales, y de sus aplicaciones tecnológicas; (e) promover, participar y realizar conferencias, encuentros y reuniones de divulgación del trabajo científico y tecnológico rioplatense; (f) colaborar y realizar intercambios de información con asociaciones similares de otros países.

COMISIÓN DIRECTIVA

Pablo E Penchaszadeh (presidente), Carlos Abeledo (vicepresidente), Federico Coluccio Leskow (tesorero), Alejandro Gangui (protesorero), Paulina Nabel (secretaria), María Semmartin (prosecretaria), Hilda Sabato, Diego Golombek –en uso de licencia–, Galo Soler Illia, Ana Belén Elgoyhen (vocales).

COMITÉ EDITORIAL de la revista CIENCIA HOY

Pablo Enrique Penchaszadeh (director), Federico Coluccio Leskow, Omar Coso, Alejandro Curino, Cristina Damborenea, Ingrid de Jong, María Luz Endere, Alejandro Gangui, Aníbal Gattone, Roy Hora, José X Martini, Paulina E Nabel, Roberto Pujana, María Semmartin.

Secretaría del comité editorial

Paula Blanco

Presentación

En sus veintiocho años de existencia, CIENCIA Hoy publicó artículos de divulgación escritos por unos 1500 científicos. Ahora ha resuelto organizar ese contundente capital por grandes áreas del conocimiento y entregarlo al lector en volúmenes temáticos, de los cuales este es el segundo en aparecer, dedicado a las ciencias agropecuarias. Buscando un equilibrio de contenidos y teniendo en cuenta la cantidad posible de páginas, se han seleccionado 25 artículos, escritos por 55 autores, entre todos los publicados a lo largo de dicho lapso sobre esas disciplinas. En los casos en que fue necesario, se actualizó la información, para lo cual se convocó a los propios autores, a sus colaboradores o a sus discípulos.

El presente y el futuro de la alimentación de la población mundial y de la conservación de los recursos

naturales preocupan a la humanidad. Así, la actividad agropecuaria de los países productores de alimentos está en el ojo de la tormenta. Las páginas de CIENCIA HOY se hicieron eco de los cambios en el sector agropecuario nacional y mundial. Los trabajos contenidos en este volumen temático reflejan un sector que ha evolucionado tecnológicamente y conceptualmente. También revelarán los conflictos que hoy enfrentamos: producir sin deteriorar la integridad de los ecosistemas y en formas social, cultural y económicamente inclusivas. Con frecuencia creciente, los ciudadanos deberán decidir sobre cuestiones fundamentales ligadas a la producción agropecuaria, el ambiente, la economía y el desarrollo social. Esas instancias pondrán en juego sus valores y su conocimiento. Las páginas que siguen, fruto del trabajo del sistema científico de nuestro país, seguramente alimentarán esas decisiones.

María Semmartin y Martín Oesterheld

Abril de 2017

Dr. Lino Baraño

Ministro de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva

La producción de alimentos en el siglo XXI: preocupación global y oportunidad para Argentina

El incremento en la población mundial, estimado en unos dos mil millones de personas para el año 2050, traerá aparejado un aumento proporcional en demanda de alimentos.

Se ha calculado que de aquí a 2050 la humanidad tendrá que producir tanto alimento como produjo en toda su historia. Con los rindes actuales, y sin tener en cuenta los posibles efectos negativos del cambio climático, el aumento de 70% de la producción agrícola requerirá un agregado a la superficie cultivable equivalente a Brasil. Por otra parte, si además se consideraran las consecuencias del cambio climático, es factible que la producción agrícola disminuya 30%. Teniendo en cuenta estos datos, la Royal Society¹ estableció que el mayor reto al que se enfrenta el mundo es el de la 'intensificación sostenible de la agricultura mundial'. Claramente este desafío solo puede ser superado con la incorporación de tecnología, tanto para el incremento de los rindes como para garantizar la sostenibilidad. Sumado a esto, aparece la demanda de generación de empleo en los sectores rurales. Esto requiere a su vez la

aplicación de innovaciones que generen nuevas cadenas de valor que compensen el impacto de la necesaria tecnificación de la producción agrícola.

Por otro lado, han aparecido nuevos mercados para productos premium y del denominado 'consumo responsable', es decir un consumo que contempla, entre otras, variables como el impacto ambiental y la justicia social. Este mercado plantea oportunidades, también, para las economías regionales que deben garantizar la calidad del producto, desarrollo de marca y un sello de comercio justo.

En este contexto está claro que, para encarar estos desafíos, urge desarrollar tecnologías que por un lado apunten a hacer más eficiente y sustentable la producción agrícola y por otro aporten calidad y economía de escala a pequeños productores. En ambos casos, el rol del sistema científico tecnológico, tanto público como privado, es insustituible.

El presente volumen constituye un aporte significativo al abordaje de estas problemáticas, desde la perspectiva de importantes especialistas argentinos.

1. La Real Sociedad para el Avance de la Ciencia Natural es una de las sociedades científicas más antiguas del mundo; tiene sede en Londres, Reino Unido.

Índice

- 9** **La producción agropecuaria se transforma**
9 **Prólogo**
- 11** **Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo**
José Paruelo, Juan Pablo Guerschman y Santiago R Verón
- 17** **Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual**
Emilio H Satorre
- 21** **Consecuencias económicas de la transformación agrícola**
Eduardo Trigo
- 25** **Efectos sociales de los cambios en la agricultura**
Carlos Reboratti
- 31** **La transformación del campo argentino: de tranqueras adentro a un campo sin tranqueras**
Roberto Oscar Bisang
- La agricultura familiar**
- 39** **Prólogo**
- 41** **Agricultura familiar: concepto, polémicas y algunas cifras para la Argentina**
Marcela Román
- 47** **Políticas públicas para la agricultura familiar**
Pedro Tsakoumagkos y Susana Soverna
- 53** **Consecuencias de la agricultura familiar sobre los recursos naturales: tensiones entre el discurso y la realidad**
Marcos Horacio Easdale
- 59** **La huerta agroecológica como proceso de enseñanza-aprendizaje**
María Ximena Arqueros y Nela Lena Gallardo Araya
- Tecnologías del sector agropecuario**
- 65** **Prólogo**
- 67** **La agricultura de precisión, una nueva tecnología para producir alimentos**
Matías Ruffo
- 73** **Estrategias para aumentar la producción de alimentos**
Daniel J Miralles
- 79** **¿Cómo se adaptan las plantas a las condiciones desfavorables del ambiente? El caso de las proteínas HD-Zip**
Raquel Lía Chan y Daniel H González

- 87** **La revolución genética y la agricultura**
Alejandro Mentaberry
- 99** **Cultivos genéticamente modificados: ¿preocuparse u ocuparse?**
Elsa L Camadro
- 105** **Impacto ambiental de los cultivos transgénicos**
Mónica Poverene y Miguel Cantamutto
- 115** **¿Qué son los plaguicidas?**
Francisco Bedmar
- 123** **El control biológico de plagas**
Guillermo Cabrera Walsh, Juan Briano y Alba Enrique de Briano
- Impacto ambiental de la actividad agropecuaria**
- 131** **Prólogo**
- 133** **Regeneración ambiental en el noroeste argentino. Oportunidades para la conservación y restauración de ecosistemas**
Héctor R Grau, Ignacio Gasparri, Mariano M Morales, Alfredo Grau, Ezequiel Aráoz, Julieta Carilla y Jorgelina Gutiérrez
- 143** **Cambios en la fauna pampeana**
David Bilenca, Mariano Codesido y Carlos González Fischer
- 153** **Los polinizadores en la agricultura**
Lucas A Garibaldi, Carolina L Morales, Lorena Ashworth, Natacha P Chacoff y Marcelo A Aizen
- 163** **Consecuencias ambientales del uso de pesticidas**
M Alejandra Martínez-Ghersa
- 169** **Plaguicidas y salud humana**
Marcelo Javier Wolansky
- 177** **Sojización y productividad de los suelos pampeanos**
Roberto Álvarez, Gonzalo Berhongaray, Josefina De Paepe, María Rosa Mendoza, Haydée Steinbach, Constanza Caride, Rodolfo Cantet y Carina Álvarez
- La investigación en ciencias agropecuarias y los desafíos venideros**
- 185** **Prólogo**
- 187** **Algunos desafíos para las ciencias agropecuarias**
Martín Oesterheld y María Elena Otegui
- 191** **Análisis bibliográfico de la investigación agronómica en la Argentina**
Martín Oesterheld, María Semmartin y Antonio Hall



La producción agropecuaria se transforma

En los últimos años, muchos aspectos de la producción agropecuaria cambiaron notablemente. En esta sección, se analizan algunas de esas transformaciones. La expansión de la agricultura hacia tierras que no se cultivaban, la irrupción de la ingeniería genética, la intensificación del uso de pesticidas y fertilizantes, la

explosión de la siembra directa y el cambio en las formas de tenencia de la tierra lideraron esa transformación. Este proceso tuvo consecuencias económicas ya que sus beneficios fueron repartidos diferencialmente entre los actores. Entre las consecuencias sociales, los efectos también difirieron entre regiones agroecológicas y tipos de productores.

Foto Pedro Reyna,
Flickr.com.



José M Paruelo, Juan P ablo Guerschman
y Santiago R Verón

Facultad de Agronomía, UBA

Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo

La soja se ha convertido en el principal cultivo de la Argentina, tanto en superficie implantada como en producción. En los últimos quince años, estas se multiplicaron, respectivamente, unas tres y cinco veces. En la campaña 2003-2004 se sembraron 14,2 millones de hectáreas y se produjeron 34,8 millones de toneladas de soja y, tomando también sus productos, en 2003 la soja originó el 45% de las exportaciones agrícolas del país. El boom de la soja es parte de un fenómeno anterior más amplio: la creciente preponderancia de la agricultura en la producción agropecuaria extensiva argentina, algo que también se advirtió en el resto de Sudamérica.

Esta expansión agrícola es un caso particular de los frecuentes cambios producidos por los humanos en el uso del suelo, o en el tipo de aprovechamiento que realizan de los ecosistemas terrestres. Hoy, tal cambio es parte importante del llamado *cambio global*, junto con las alteraciones climáticas y las modificaciones en la composición atmosférica. Por lo tanto, sus consecuencias exceden el ámbito local o regional. La expansión agrícola influye sobre el clima, los ciclos del agua, el carbono y el nitrógeno en la biosfera, las emisiones de gases causantes del efecto invernadero y la biodiversidad. Al mismo tiempo, ante una demanda creciente de alimentos y fibras, el aumento de la superficie agrícola aparece

como un proceso ineludible. Sus consecuencias sociales y ambientales, por otra parte, subrayan la importancia de planificar con cuidado la expansión del área cultivada por medio de una acción estatal que guíe y controle la operación de los mercados y, sobre todo, que asegure que las decisiones económicas privadas tomen en consideración los costos públicos y los efectos de largo plazo.

La expansión agrícola genera diferentes opiniones. Por una parte, la producción agropecuaria y sus sectores industriales y comerciales asociados celebran la incorporación de nuevas áreas productivas al mapa agrícola del país y los ingresos que generan. Por otra parte, las entidades conservacionistas alertan sobre riesgos para la continuidad de los ecosistemas, mientras grupos políticos pronostican efectos sociales negativos. Para poder planificar el uso del suelo hay que disponer, primero, de la información básica: la tasa de expansión del área agrícola, su distribución espacial, los controles ambientales aplicados y las dimensiones tecnológicas, socioeconómicas y políticas del fenómeno. En esta nota describimos algunos de los cambios operados en el uso del suelo en buena parte de la Argentina sobre la base de estadísticas oficiales y del procesamiento de imágenes satelitales.

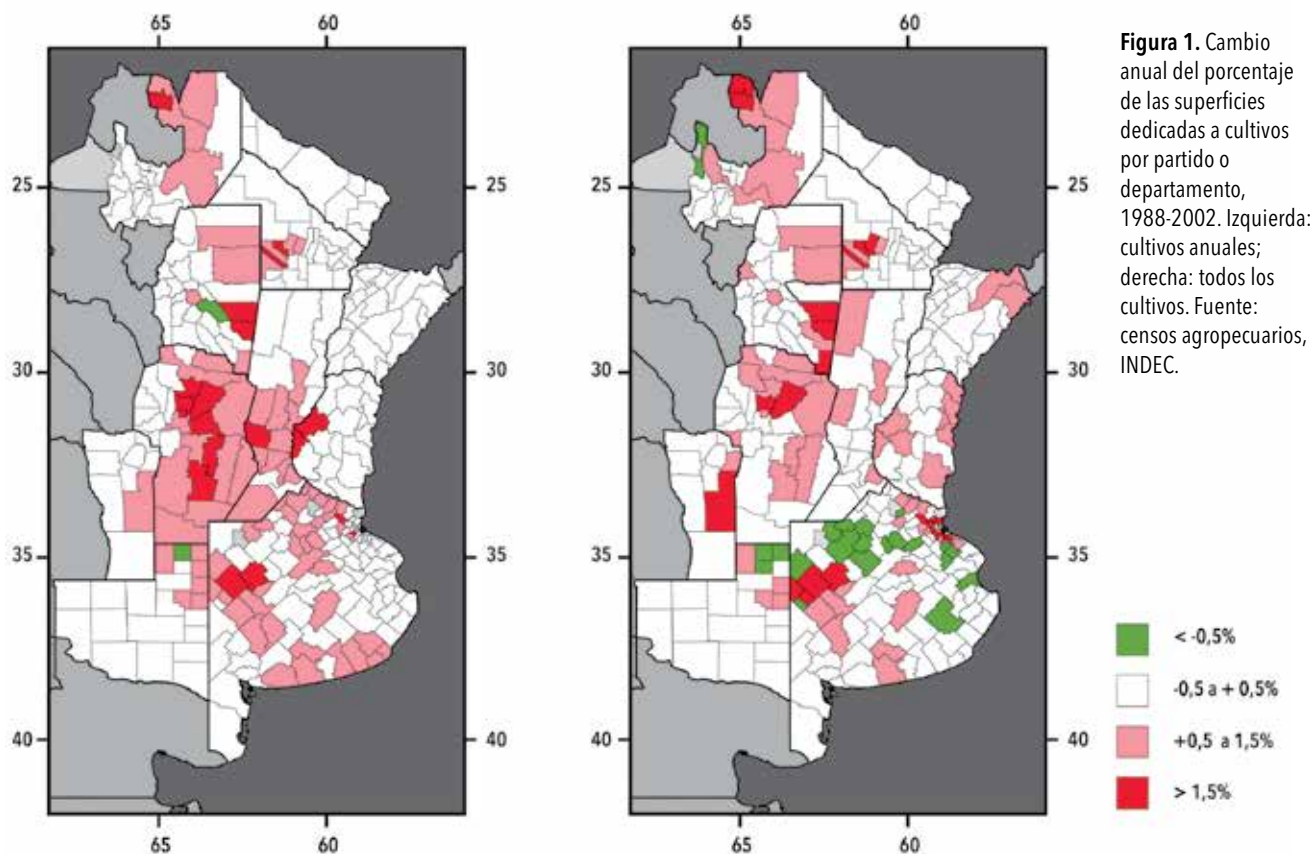
Durante el período 1988-2002, los censos agropecuarios del INDEC muestran que la superficie dedicada a cultivos anuales se expandió en el país a una tasa media

cercana al 0,3% anual. Tales cambios no fueron uniformes, ni en el espacio (figura 1) ni en el tiempo. Considerando todo el período, los mayores incrementos ocurrieron en Córdoba (14% de la superficie de la provincia fue convertida a agricultura), Entre Ríos (10%), Santa Fe (10%) y Buenos Aires (6%). En provincias con menor tradición agrícola, como Salta, Chaco y Santiago del Estero, el área sembrada aumentó un 4%, pero, además, el cambio se concentró en unos pocos departamentos.

Esta expansión agrícola estuvo acompañada de un cambio en la importancia relativa de los distintos cultivos (figura 2). Lo más importante fue el aumento del área con soja, un cultivo marginal en la década del 70 que ahora ocupa más de un tercio del área cultivada (38%). La superficie implantada con esta oleaginosa aumentó a un ritmo medio de 275.000 hectáreas por año (figura 2c). Otros cultivos, como el arroz, el girasol, el trigo y la avena, experimentaron una leve expansión. El incremento del trigo está relacionado con el de la soja, por la difusión del doble cultivo (trigo más soja), asociado con técnicas de siembra directa. Por contraste, el área con centeno y con sorgo disminuyó drásticamente: representaba el 28% del área sembrada en el quinquenio 1969-1973 y fue menos del 4% en los últimos cinco años (figura 2). Tales transformaciones dieron lugar a una reducción en el número de cultivos agrícolas que se realizan en cada partido o departamento provincial. Por ejemplo, en Buenos Aires y Santa Fe cayó entre la mitad y las tres cuartas partes en los últimos 25 años.

¿Qué se perdió a cambio de la ganancia de tierras agrícolas? La respuesta varía según la zona considerada. En la región pampeana, incorporada a la agricultura a principios del siglo XX, los cultivos anuales no avanzaron tanto sobre vegetación natural como reemplazaron cultivos perennes, mayoritariamente pasturas sembradas, compuestas por alfalfa y otras forrajeras, que antes ocupaban los potreros durante 4-5 años en alternancia con un número similar de años de cultivos anuales. Por eso, en Santa Fe o Buenos Aires se observa que aumentaron los cultivos anuales, pero la superficie cultivada total, que incluye a las pasturas, no aumentó e, incluso, disminuyó (figura 1).

Contrariamente, en las provincias del norte y buena parte de Córdoba, los cultivos anuales reemplazaron a la vegetación natural. Las estadísticas oficiales no permiten percibir esta variación debido a la resolución espacial de los datos: los cambios están concentrados en algunos polos agrícolas ubicados en departamentos de gran extensión y la merma de la superficie ocupada por bosques y montes se diluye en la superficie total del departamento. Pero el análisis de imágenes de satélite revela la situación. En el noreste de Salta, en la campaña agrícola 2002-2003, el 51% de los cultivos de soja (unas 157.000ha) fue sembrado sobre áreas que en 1988-1989 estaban ocupadas por vegetación natural, mientras que el resto fue sembrado en tierras que ya entonces eran agrícolas. El 89% de la vegetación natural reemplazada por soja (el cultivo más dinámico en la zona) corres-



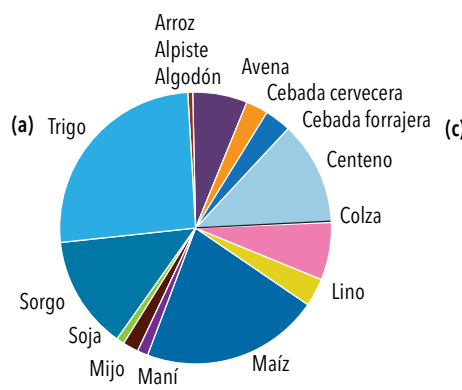
pondió a vegetación de chaco seco (bosques de quebracho, palosanto, duraznillos y otras especies), el 5% a selva pedemontana y el 5,7% a chaco serrano.

En las provincias consideradas en este artículo, la expansión agrícola fue acompañada entre 1988 y 2002 por un aumento de la carga animal en el campo. En la mayor parte de la zona cerealera pampeana la carga ganadera disminuyó, mientras que en las áreas que, sin serlo antes, se transformaron en agrícolas, o las que rodean al núcleo agrícola pampeano, aumentó (figura 3). Si se refiere el incremento de la carga ganadera, no al área agropecuaria total, sino a la de pastoreo, que incluye campo natural, monte nativo, verdeos (cultivos anuales en los que se hace pastar el ganado antes o en lugar de que sean cosechados) y pasturas implantadas, la carga aumentó muy notoriamente (figura 3). El aumento fue de aproximadamente el 11% de los valores de carga observados en los censos de 1988. Solo Corrientes, Entre Ríos y Formosa mostraron una ligera retracción de la carga calculada de esta manera.

El fenómeno que venimos comentando es la consecuencia de causas sociales, económicas, políticas, tecnológicas y ambientales. La expansión de las técnicas e implementos de labranza mínima y siembra directa, los precios internacionales de ciertos productos primarios, el cambio de escala de la empresa agrícola y la disponibilidad de capital financiero que se canalizó a los consorcios de siembra fueron las más frecuentemente invocadas para explicar los cambios. La importancia relativa de estos y otros factores varía de una zona a otra y, seguramente, se pueden advertir interacciones entre ellos. La disponibilidad tecnológica, las características de los suelos, la capacitación de la mano de obra local, las tendencias climáticas, la relación de los precios de los productos y los insumos, y los incentivos fiscales influyeron en la tasa de expansión de cada cultivo.

En buena parte de la provincia de Buenos Aires es posible que la principal limitación al crecimiento agrícola haya sido la disponibilidad de suelos sin restricciones de salinidad, alcalinidad o anegamiento, así como la competencia con actividades ganaderas intensivas (producción de leche y engorde de novillos o invernada). Para superar las limitaciones asociadas al anegamiento o la salinidad de los suelos serían necesarios cambios tecnológicos, económicos o de infraestructura de gran magnitud. En el medio chaqueño, por el contrario, la disponibilidad de suelos aptos no habría sido el prin-

Promedio del quinquenio
1969-1970 - 1973-1974



Promedio del quinquenio
1998-1999 - 2002-2003

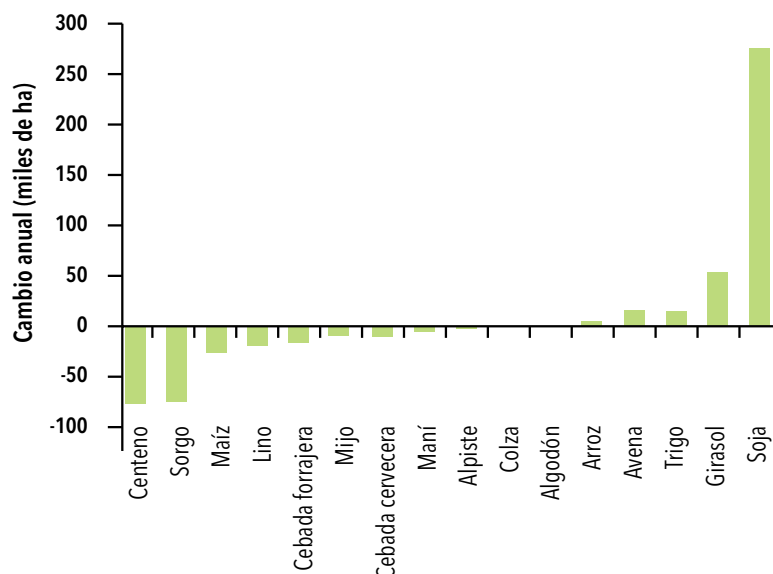
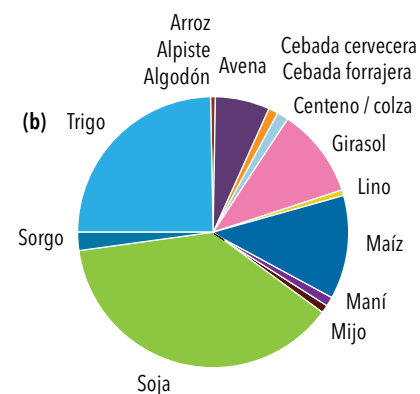


Figura 2. Participación de los distintos cultivos anuales en el área implantada de la figura 1 en 1969-1970 - 1973-1974 (a) y 1998-1999 - 2002-2003 (b). Ritmo medio anual de cambio de la superficie de distintos cultivos entre 1970 y 2003 (c). Fuente: encuestas agropecuarias de la SAGPYA.

cipal condicionante de la expansión agrícola. Mientras en la región pampeana más del 49% de los suelos con mayor aptitud agrícola estaban ocupados en la campaña 2003-2004 por cultivos anuales, en el este de Salta solo el 20% de los suelos más aptos estaban bajo cultivo.

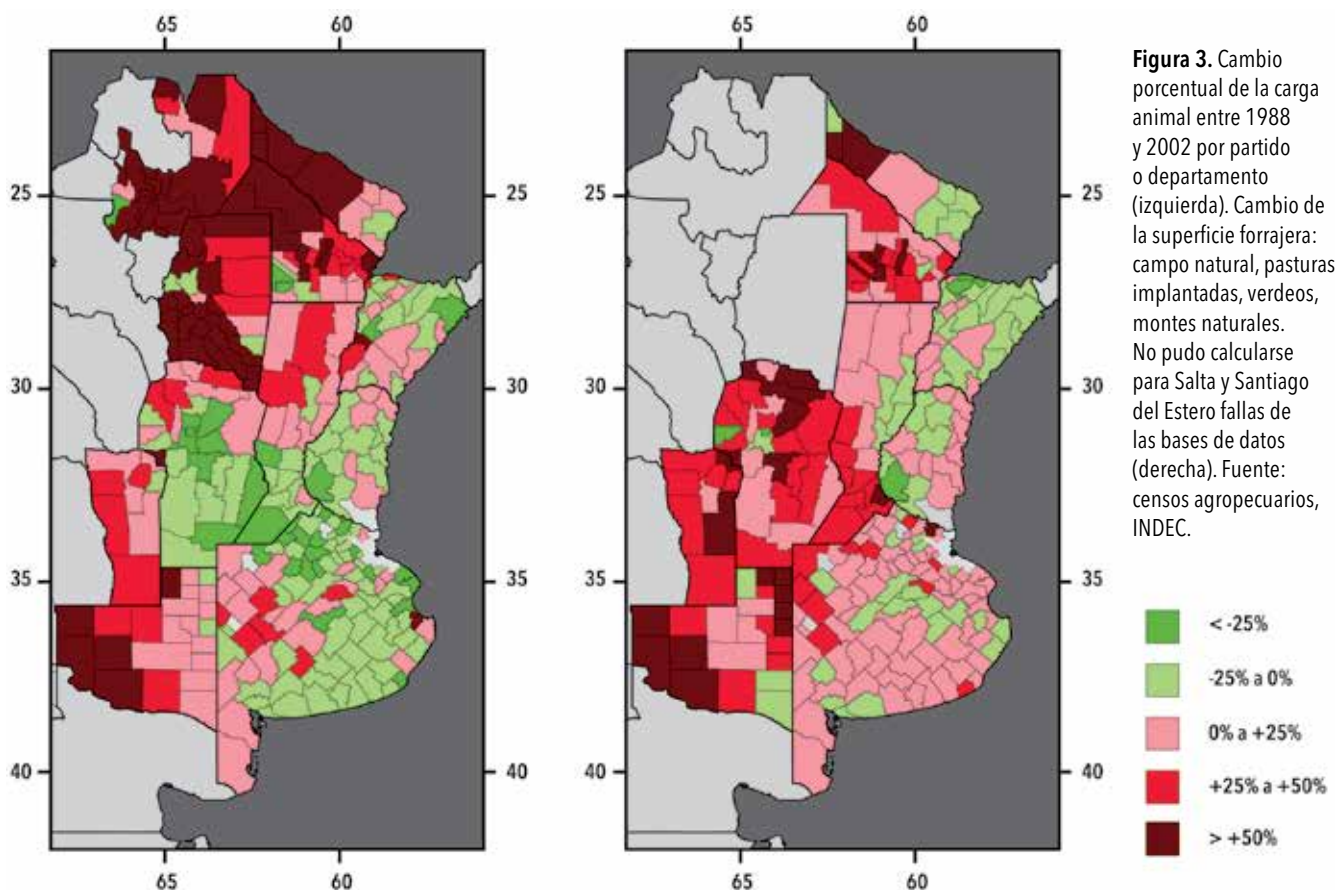
Los cambios de clima pueden favorecer o restringir la expansión agrícola. Muchas de las modificaciones asociadas con los cambios climáticos globales pueden afectar la distribución de los cultivos debido a factores como aumentos de la temperatura (y, consecuentemente, la evaporación de agua), sequías o inundaciones. Nuevamente, estos efectos varían espacialmente y dependen de otros factores. Las mayores lluvias de la región chaqueña han sido invocadas como una de las causas de la expansión agrícola en las provincias que la integran. No está claro si se trata de un cambio permanente o transitorio, incertidumbre que pesa sobre algunas áreas en las que la agricultura ha avanzado hace poco. Si se volviera

a un régimen seco, los nuevos polos agrícolas sufrirían seriamente, con consecuencias que podrían extenderse al resto de la sociedad por la cadena de insumos y servicios, más el hecho de que los productores reclamarían subsidios para hacer frente a una situación climática que creerían extraordinaria cuando, en realidad, podría no ser tal.

Hasta aquí una descripción de los hechos, presentada con el expreso cuidado de evitar juicios de valor. La discusión sobre la conveniencia de la expansión agrícola, que está más cerca de tales juicios o puede entrar decididamente en el terreno de estos, necesita especificar con relación a quién se hace el análisis. Es decir, la percepción de los inconvenientes y las bondades del proceso varía según los grupos sociales o de interés que se consideren. La tarea del sistema científico y tecnológico es proporcionar evidencias y análisis que permitan iluminar y hacer más racional el debate eminentemente político entre esos grupos, requerido para poder tomar las decisiones colectivas del caso.

Consideremos el caso de la región natural chaqueña, que abarca varias provincias. La transformación de bosques nativos en áreas agrícolas está impulsada, sobre todo, por el interés privado en una actividad altamente rentable. El Estado, por su parte, percibe parte de los ingresos por la vía fiscal. Pero la producción del bien, soja en este caso, causa la alteración del ecosistema, cuya estructura y funcionamiento resultan modificados. La evidencia empírica muestra que el reemplazo de vegetación

nativa por cultivos disminuye en forma significativa la capacidad del ecosistema de fijar el carbono atmosférico, es decir, de extraer del aire dióxido de carbono, el principal contribuyente al efecto invernadero. Probablemente las consecuencias en esta materia sean más graves, porque es necesario considerar la quema inicial del monte, que libera CO₂ a la atmósfera, y la mayor descomposición de vegetación que ocasionan las labores agrícolas (aun con siembra directa), que tiene el mismo efecto. Téngase presente que, a partir de la ratificación del protocolo de Kyoto, la capacidad de sus ambientes naturales de secuestrar carbono puede convertirse en una mercancía transable en un mercado global. El reemplazo de la vegetación natural por cultivada y la alteración del funcionamiento del ecosistema afectan también otros servicios provistos por este, como, entre otros, la regulación natural de las cuencas hídricas, que mitiga las inundaciones y mejora la calidad de las aguas; la conservación de la diversidad biológica, un patrimonio genético que tiene creciente valor, incluso económico, para propósitos tan diversos como la alimentación y la industria farmacéutica; la protección contra la erosión del suelo, o la recreación y el turismo. En esta corta referencia se puede advertir que muchos de estos costos (o beneficios perdidos) causados por la expansión agrícola no afectan solo a la empresa agropecuaria que explota la tierra, sino que recaen sobre toda la sociedad. En otras palabras, hay costos públicos o sociales que el empresario no toma en cuenta porque no afectan la rentabilidad privada o individual de la ac-



tividad. La rentabilidad para toda la sociedad o rentabilidad social resulta así menor que la rentabilidad para la empresa o rentabilidad privada, debido a dichos costos, también llamados *costos externos* o *externalidades*. Existen, sin embargo, caminos por los que el Estado puede corregir esta discrepancia y lograr que la empresa tome en cuenta los costos sociales en sus decisiones, es decir, que convierta los costos externos en internos.

El esquema de la figura 4 resume la posible dinámica de transformación de los ambientes chaqueños. El ecosistema natural proporciona a la sociedad la mayor cantidad de bienes y servicios públicos, como los indicados en el párrafo anterior, que no tienen precio de mercado porque no pueden asignarse a los consumidores por ese mecanismo. Un agroecosistema basado en el monocultivo de soja brinda a la sociedad mayor cantidad de bienes y servicios privados, que se transan en los mercados nacionales e internacionales. Pero esta no es la única transformación posible del medio natural. Un ordenamiento territorial equilibrado permitiría definir sistemas mixtos, que combinen parches de vegetación nativa con agricultura y ganadería, y que proporcionen a la sociedad la combinación adecuada de bienes públicos y privados, es decir, que obtengan la mayor rentabilidad social y tomen en cuenta los efectos económicos y ambientales de largo plazo.

La importancia de planificar la transformación se debe a que los cambios de uso del suelo pueden ser irreversibles. Por otro lado es probable que la producción agrícola y el funcionamiento del ecosistema no varíen en forma regular con el aumento de la superficie agrícola (técnicamente, no son una función lineal de esta). Así al aumentar la superficie incorporada a la agricultura puede esperarse un crecimiento con tasa decreciente de los volúmenes totales producidos, como se aprecia en la figura 5. El aumento del área cultivada tendría un efecto negativo sobre el funcionamiento del ecosistema, pero esa caída puede adquirir distinta dinámica según la forma concreta que tome ese aumento. Para cada una de esas posibles formas, dado un máximo tolerable de disminución de los beneficios del ecosistema natural, hay un límite máximo de expansión agrícola, como lo indica dicha figura.

Si bien el mencionado límite máximo tolerable de disminución de los beneficios del ecosistema natural depende de las preferencias y los valores de cada uno, y colectivamente de la capacidad de negociación y poder de los distintos grupos sociales, la determinación de los efectos ambientales (la forma de las curvas en la figura 5) escapa a esas consideraciones y puede (y debe) ser hecha de manera objetiva. Para cada una de las alternativas de uso planteadas en la figura 4 podrían estimarse los beneficios privados y públicos y calcularse su valor para la sociedad (tengan o no precio de mercado), así como establecerse a qué grupos sociales favorecerían y a cuáles



Ecosistema natural

Proporciona a la sociedad la mayor cantidad de bienes y servicios públicos.



Sistema mixto

Proporciona a la sociedad la combinación más adecuada de bienes públicos y privados.



Agroecosistema de monocultivo

Proporciona a la sociedad la mayor cantidad de bienes y servicios privados.

Figura 4. Posibles transformaciones del medio chaqueño. El grosor de la flecha hace referencia a la probabilidad de la transición.

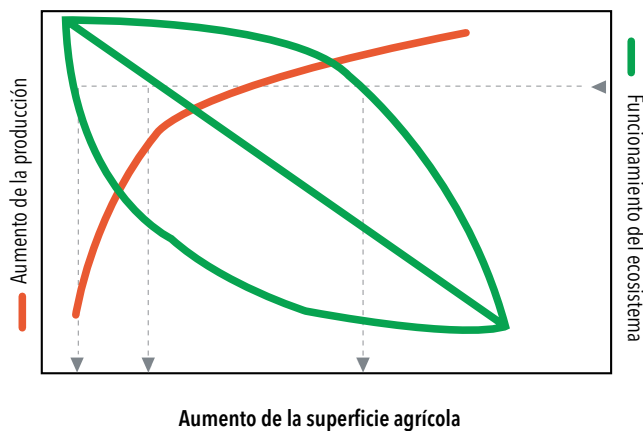


Figura 5. Cambios hipotéticos en los volúmenes de producción a medida que aumenta la superficie cultivada en un medio natural (línea roja). Los aumentos tienen tasa decreciente por la sucesiva incorporación de tierras menos aptas. Las líneas verdes indican tres posibles formas de funcionamiento del ecosistema a medida que aumenta la superficie cultivada. La flecha sobre la derecha indica el posible nivel mínimo aceptable por parte de la sociedad de ese funcionamiento. Las flechas verticales indican el aumento de la superficie agrícola correspondiente a cada una de las formas consideradas viables con ese funcionamiento mínimo.

perjudicarían, como una base objetiva para planificar el uso del territorio.

Es cierto que el sistema político necesitará resolver los conflictos que se suscitan entre actores sociales o políticos que difieran en sus valores y preferencias. Esos conflictos se plantearán en cuanto a qué bienes y servicios producir, y a cómo distribuir sus beneficios y sus costos entre los miembros de la sociedad. Pero la función del sistema político es, precisamente, resolver conflictos de esa clase. Sería, entonces, función del Estado establecer un ordenamiento territorial que satisfaga las preferencias de la sociedad. Y sería función de los académicos proporcionar la información técnica sobre cuya base los distintos grupos sociales puedan definir y formular esas preferencias.

¿Está el Estado en condiciones de generar políticas de ordenamiento territorial? Sin duda, tiene serios problemas para hacerlo:

- No dispone de la información sobre los cambios en el uso del suelo por cada establecimiento, lo que le impide tanto controlar lo que sucede como utilizar instrumentos fiscales para alentar o desalentar determinadas acciones.
- Sabe relativamente poco acerca del efecto de los cambios de uso del suelo sobre los servicios que brinda el ecosistema natural, como la regulación hídrica, el control de la erosión, la conservación de la biodiversidad, etcétera.
- No dispone de los medios institucionales, ni en el ámbito nacional, ni en los de las provincias y municipios: no existen agencias específicas que puedan encargarse del ordenamiento territorial o tiene escasa capacidad para hacerlo.
- La legislación aplicable es inadecuada, pues concede el derecho de decidir sobre el uso y la modificación de la vegetación y el suelo casi exclusivamente al propietario o tenedor del predio.

Desconocer la importancia del sector agropecuario en una región como la chaqueña es una necesidad, pero también lo es, y aun mayor, no advertir los riesgos de tomar decisiones sobre el uso de los recursos naturales que no tengan cuidadosamente en cuenta los efectos que se producirían en ámbitos que exceden a las explotaciones rurales y al mismo sector agropecuario. La mayor parte de los países europeos ha establecido políticas rigurosas de ordenamiento territorial. La Argentina está muy atrasada en la materia, a tal punto que todavía no ha realizado una discusión racional, basada en fundamentos técnicos, que conduzca a definir políticas y prácticas de manejo orientadas a obtener la combinación adecuada de explotación y conservación, acorde con los objetivos y las preferencias políticas de la sociedad. **CH**

Emilio H Satorre

Facultad de Agronomía, UBA

Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual

La agricultura argentina está fuertemente identificada con cuatro granos: trigo, maíz, girasol y soja. Ello se debe tanto a la superficie dedicada a su producción como a los ingresos que generan sus exportaciones. Las condiciones de la Argentina para tales cultivos están entre las más productivas del mundo y convirtieron al país en uno de los pocos capaces de alimentar habitantes de regiones menos favorecidas, pues si bien no se cuenta entre los principales productores mundiales de dichos cultivos, es uno de los escasos con capacidad de exportar, por lo que participa de manera importante en el comercio internacional de granos.

La producción agrícola extensiva argentina está orientada a los mercados externos, en contraposición con la agricultura de subsistencia, encaminada a la satisfacción de las necesidades alimentarias del productor y su familia. Por ello, la aplicación local de impuestos a la exportación (retenciones) y, en otros países, la existencia de subsidios y barreras a la comercialización son tan determinantes de la dinámica de los sistemas productivos como el suelo o el clima.

Muchas de las regiones que hoy son casi exclusivamente productoras de grano, hace unos pocos años eran identificadas como mixtas, pues coexistían en ellas la producción de granos y la ganadería, o incluso eran netamente ganaderas. En los últimos veinte años esas tierras experimentaron enormes transformaciones, que se hicieron extensivas a la agricultura argentina en general, como lo explica la nota 'Expansión agrícola y cambios en el uso del suelo', también publicada en este volumen. La producción de trigo, maíz, girasol y soja aumentó cerca del 66%, de 40 a 67 millones de toneladas. El área sembrada aumentó cerca del 35% y la participación relativa de los cultivos se modificó bruscamente (figura 1). Este proceso extendió la superficie agrícola y

relegó la actividad ganadera, tanto en términos de uso del suelo como de participación en el resultado de muchas empresas. El cambio de actividad no fue parejo para todos los cultivos, sino que se concentró en la soja, que se convirtió en el cultivo dominante de amplias zonas. Desde 1996, la superficie sembrada con maíz, girasol y trigo se mantuvo estable o cayó, mientras que la destinada a soja aumentó a más del doble. De los aproximadamente 25 millones de hectáreas sembradas actualmente con granos, el 52% corresponde a soja.

La mayor parte de este crecimiento productivo se concentró en la región pampeana, pero la transformación alcanzó, en mayor o menor medida, a todas las regiones argentinas con aptitud para esos cultivos. De hecho, los mayores cambios relativos sucedieron en regiones extrapampeanas, al punto de que las superficies sembradas en Chaco y Santiago del Estero, por un lado, y en Tucumán y Salta, por otro, aumentaron respectivamente cerca de 800% y de 400% en el período 1990-2003 (figura 2).

Estas transformaciones en la utilización de la tierra representan riesgos para los respectivos ecosistemas. Entre ellos se destaca la gran reducción de la superficie ocupada por praderas (es decir, por pastos permanentes) en las regiones más productivas. Dicha reducción crea el peligro de que disminuya la incorporación de carbono originado en materia orgánica, el que es crucial para el mantenimiento de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos y, por lo tanto, para el rendimiento de las explotaciones. Por otra parte, la intensificación productiva y la consiguiente extracción de los nutrientes del suelo por los granos cultivados llevan también al empobrecimiento de este, excepto que sean repuestos, por ejemplo mediante la aplicación adecuada de fertilizantes. Sin embargo, los potenciales efectos ambientales negativos fueron mitigados

por el uso de nuevos conceptos agronómicos y de tecnologías innovadoras, como la siembra directa, la rotación de distintos cultivos en un mismo predio, las variedades transgénicas, la mayor aplicación de herbicidas y fertilizantes y la agricultura de precisión, proceso que se simboliza en la figura 3 y se explica a renglón seguido.

Los sistemas de labranza de la tierra fueron modificados en los últimos veinte años con el fin de mantener los suelos cubiertos con residuos vegetales durante la siembra y crecimiento de las especies cultivadas, y así reducir la erosión causada por el viento y el agua. A comienzo de los

años 80 se introdujo el arado de cincel, una herramienta con fuertes púas que remueve el suelo pero mantiene mayor cobertura vegetal que el arado de discos, y no lo invierte, como lo hace el arado de reja y vertedera. Este fue característico de la agricultura pampeana, particularmente en su zona oeste, donde el suelo es muy propenso a la erosión. La siguiente innovación, que se comenzó a difundir a fines de los 80, fue la siembra directa, un sistema por el que no se recurre a un arado ni se remueve el suelo antes de la siembra, sino que la sembradora crea una estrecha hendidura en la que deposita las semillas (figura 4).

La adopción de la siembra directa tiene causas productivas y causas empresarias. Actualmente se aplica a cerca de 11 millones de hectáreas, o poco menos del 50% del área sembrada en la Argentina. Si se miran los métodos usados para producir, la rápida difusión de esta técnica se explica porque, además de la mencionada contribución a disminuir la erosión, (i) facilitó el doble cultivo en el mismo año: primero trigo y luego soja (soja de segunda), ya que ahorra tiempo y permite sembrar la soja con poca demora después de la cosecha del trigo; (ii) permitió que parte del agua que se perdía de la tierra por evaporación durante la preparación convencional del suelo no se disipara, porque con el nuevo sistema este se mantiene cubierto por las plantas del primer cultivo y otros residuos vegetales (el llamado rastrojo), y (iii) debido a lo último, se incrementó la eficacia de los fertilizantes, pues la abundancia de agua favorece su acción, lo que, a su vez, incentivó su uso. Estas características contribuyeron a dar mayor estabilidad a los resultados económicos obtenidos por los agricultores, mejoraron los suelos, y, combinando la siembra directa –realizada con máquinas sembradoras adecuadas– con herbicidas eficaces y accesibles, brindaron una solución integral a la implantación de los cultivos y al control de las malezas.

Además de estas ventajas productivas, hubo razones empresariales que explican la difusión de la siembra directa, ya que permitió aumentar la capacidad operativa y la escala de producción de las empresas por el camino de la reducción de los tiempos de preparación y siembra de los cultivos. Así, los agricultores pudieron ampliar la superficie que están en

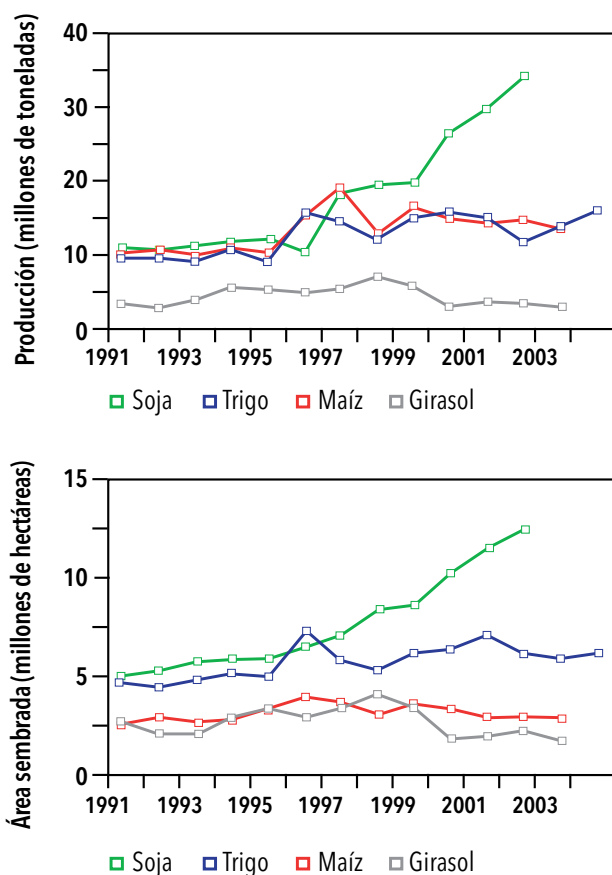


Figura 1. Cambios de la superficie sembrada y de la producción de soja, trigo, maíz y girasol. Fuente: SAGPYA.

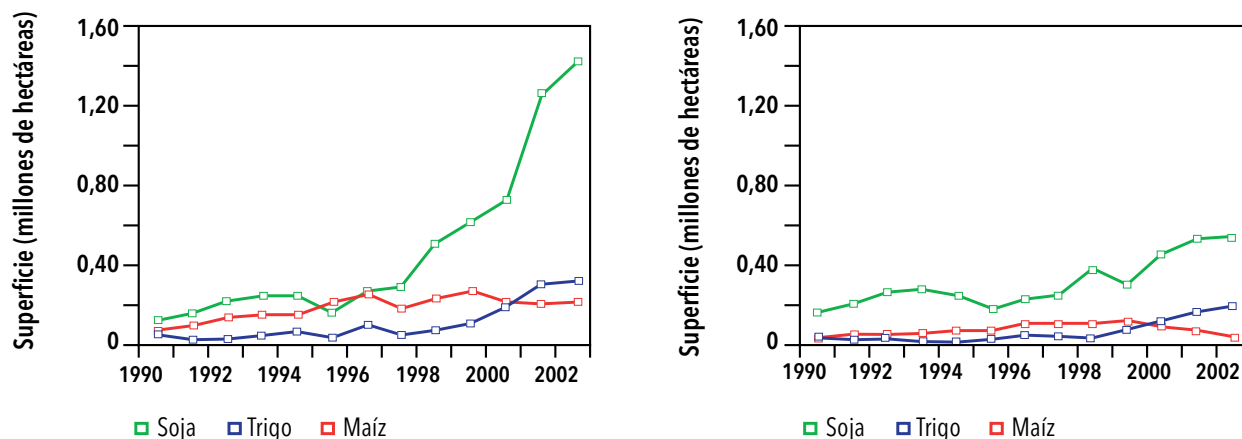


Figura 2. Cambios de la superficie sembrada con soja, maíz y trigo en Santiago del Estero y Chaco (izquierda) y en Salta y Tucumán (derecha).

condiciones de trabajar y, por ende, tuvieron la posibilidad de realizar nuevos negocios. Para el conjunto del sector, la mayor independencia de las condiciones del suelo que se obtiene recurriendo al sistema permitió poner en producción tierras antes consideradas de baja aptitud agrícola, lo que provocó la expansión general de la agricultura.

Los cultivos modificados genéticamente fueron ampliamente adoptados por los agricultores argentinos tan pronto aparecieron en el mercado en 1996. Si bien aún existen dudas sobre la reacción de los mercados a ellos, han contribuido significativamente a las transformaciones agrícolas que estamos describiendo y a la consolidación y crecimiento de las otras tecnologías enumeradas, es decir, la siembra directa y la fertilización. Así, debido a que quien recurre a la siembra directa no ara la tierra, debe combatir las malezas casi exclusivamente mediante la aplicación de herbicidas, los que a su vez pueden afectar el cultivo. Pero la aparición de variedades transgénicas de soja resistentes al glifosato, un herbicida de gran poder, puso una fórmula económica y altamente eficaz al alcance del agricultor. La combinación de siembra directa y soja resistente a glifosato contribuyó más que otra cosa a extender el cultivo de soja a zonas antes consideradas de bajas posibilidades para la agricultura. Actualmente, en más del 95% del área sembrada con soja en la Argentina se cultivan variedades transgénicas que tienen esa resistencia y han permitido una gran reducción de los costos de producción, debido al eficiente control de malezas, incluso de muchas, tanto anuales como perennes, consideradas plaga nacional. Así aumentó el rendimiento de los cultivos y el valor de los campos.

La ingeniería genética no se redujo a la soja. Se extendió también al maíz. Existen híbridos de maíz genéticamente modificados (maíces Bt) con tolerancia al barrenador del tallo, el insecto plaga más importante del cultivo. Tales híbridos permiten que se reduzca el uso de insecticidas. Se estima que en cerca del 52% del área sembrada con maíz se cultiva algún híbrido Bt. El cultivo de híbridos de maíz resistentes a glifosato acaba de ser autorizado en el país, pero su tasa de adopción será probablemente inferior a la de la soja transgénica, porque, en el maíz, el gasto en semilla y fertilizantes representa la mayor parte de los costos de producción, muy por encima de los herbicidas. En la soja, en cambio, semilla y fertilizantes constituyen una porción más baja de dichos costos y con la resistencia transgénica al glifosato se pudo reducir marcadamente el gasto en herbicidas, así como los costos totales de producción. Por ello, en el maíz esa resistencia seguramente incrementará el costo de la semilla y reducirá su adopción a ambientes con problemas especiales de malezas.

Otro factor ayuda a explicar la enorme expansión de la soja, además de la siembra directa y la ingeniería genética, que solas quizá hubiesen sido insuficientes para provocarla. Es la rotación de cultivos, es decir, la alternancia en el tiempo, en el mismo predio, de distintos cultivos. Tal rotación, adecuadamente organizada, puede realizar un aporte crucial

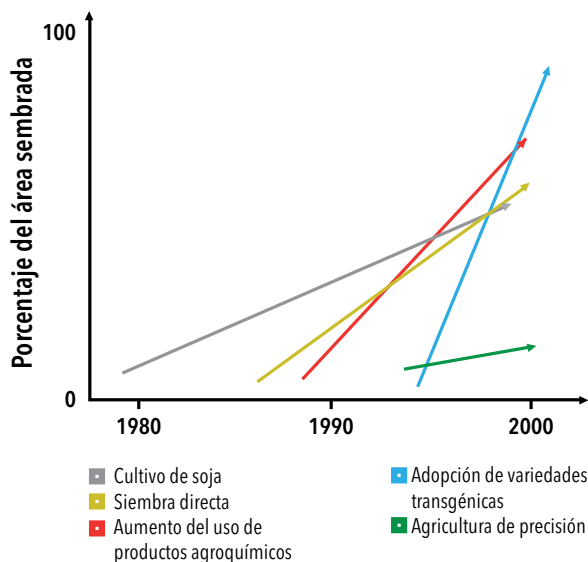


Figura 3. Introducción y adopción de tecnologías en la agricultura durante los últimos veinte años.

a conservar un buen balance de materia orgánica en los suelos, aprovechar de modo eficiente el agua y controlar plagas, malezas y enfermedades. En la agricultura extensiva sin riego de la región pampeana se rotan por lo menos tres cultivos. En zonas en que coexisten agricultura y ganadería, los cultivos se rotan con pasturas, que se dejan evolucionar por varios años. La figura 5 muestra un ejemplo de rotaciones, para un período de seis años, en establecimientos del norte de la región pampeana que no siembran girasol. Las rotaciones ofrecen mayores beneficios ecológicos y agronómicos que la monocultura de soja o de cualquier otro cultivo.

En el actual escenario dominado por el cultivo de soja –pues es el que más contribuye a la facturación de las empresas– la rotación con maíz, por ejemplo, constituye una herramienta efectiva para mejorar el rendimiento de aquella, reducir costos y dificultades de producción y aumentar la estabilidad del sistema. Hay evidencias de importantes disminuciones de rendimiento de cultivos de soja en predios en que no se realizaron rotaciones, comparados con



Figura 4. Rastra de discos en acción.

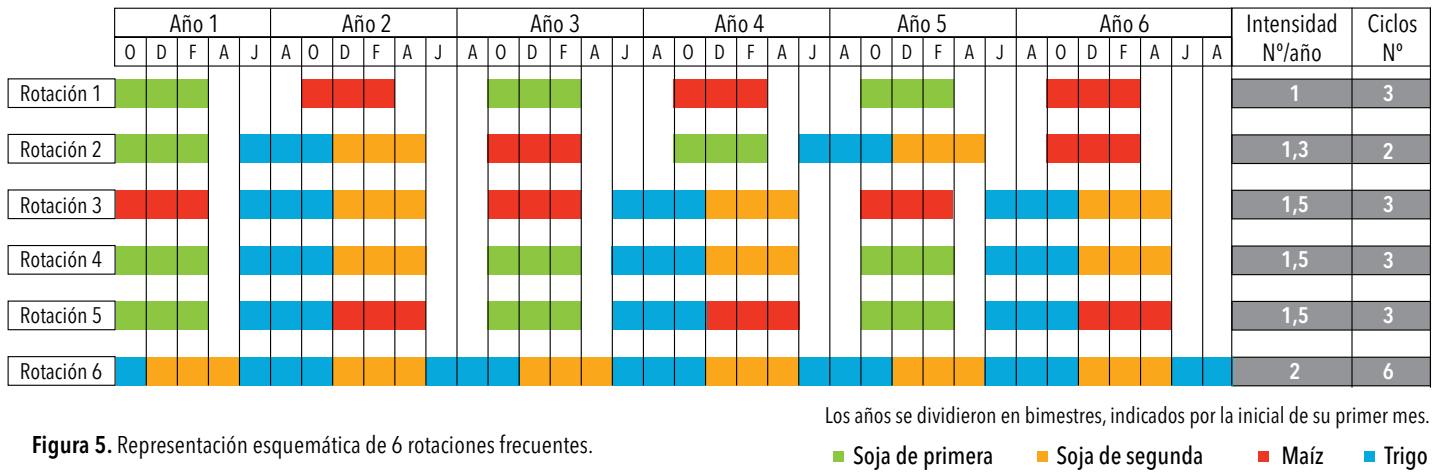


Figura 5. Representación esquemática de 6 rotaciones frecuentes.


otros en predios en que se realizaron. El rendimiento de la soja sembrada luego de un cultivo de maíz puede ser entre 10 y 15% superior al obtenido luego de otro cultivo de soja. Sin embargo, la superficie sembrada con maíz puede continuar descendiendo, debido a un conjunto complejo de causas que incluye bajos precios actuales del grano, sus altos costos, falta de capital, deterioro de suelos y la frecuente estructura de corto plazo de los contratos de arrendamiento. La agricultura ha avanzado en la última década hacia esquemas productivos más complejos, que necesariamente requieren manejar mayor cantidad de especies.

El uso de fertilizantes en la agricultura argentina se incrementó casi ocho veces en los últimos quince años. Hoy alcanza unos 1,6 millones de toneladas anuales. Pero ese uso es relativamente bajo cuando se lo compara con el de países europeos, que utilizan hasta cuarenta veces más fertilizante por hectárea. Los productos más empleados son los que proveen nitrógeno (57%) y fósforo (36%). Se aplican fundamentalmente en cultivos de trigo y maíz. En las decisiones de fertilizar se presta cuidadosa atención a la eficiencia de la tarea, ya que representa una elevada proporción de los costos de los cultivos extensivos. La combinación de siembra directa con una aplicación relativamente moderada pero eficiente de fertilizantes ha permitido sostener altos rendimientos y reducir el riesgo de contaminación ambiental. Pero ciertas evidencias hacen pensar que los suelos pampeanos están perdiendo más nutrientes que los repuestos por la fertilización. Se ha estimado que solo el 22% del nitrógeno y el 48% del fósforo tomados del suelo por los granos cultivados regresan a él con la aplicación de fertilizantes. En los próximos años, ello ocasionaría una reducción marcada de estos nutrientes en los suelos agrícolas.

La agricultura de precisión, el último cambio tecnológico mencionado en la figura 3, ha estado avanzando lentamente en la Argentina. El término se refiere a un conjunto de herramientas de decisión y manejo que, mediante tecnología satelital, permite un tratamiento diferencial de distintos sectores de un mismo lote o potrero. En lugar del tradicional uso homogéneo de superficies de decenas o

centenares de hectáreas, ahora se ha comenzado a emplear distintas dosis de siembra, de fertilizantes y de pesticidas por sectores de unas pocas hectáreas, luego de realizar un cuidadoso relevamiento de sus condiciones ecológicas y de sus resultados productivos pasados. La detección de heterogeneidad en un lote y de su dinámica espacial y temporal permite trabajar de forma diferencial unidades de tamaños antes impensados, hasta de 1 metro cuadrado.

Los cambios comentados han sucedido a un ritmo vertiginoso durante las últimas dos décadas. Tuvieron lugar en las principales áreas agrícolas del país. En el contexto empresario, las decisiones técnicas de manejo de los cultivos han buscado el aumento de los rendimientos. La mayor productividad de los recursos productivos es necesaria para sostener o aumentar la rentabilidad de las explotaciones y diluir los costos fijos en una mayor producción por unidad de superficie. Siembra directa, ingeniería genética, rotaciones de cultivos y fertilizantes han sido instrumentos clave para el logro de esos objetivos. Constituyen tecnologías probadas en escala productiva. En su desarrollo y transferencia se verificó una estrecha colaboración de instituciones públicas, como el INTA y muchas universidades, con organizaciones de productores, como la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA) y la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID), que tuvieron un muy importante cometido. Aunque es posible que su ritmo se haya moderado, la transición tecnológica no ha cesado y se caracteriza ahora por (i) el aumento de la percepción de los procesos de deterioro ambiental; (ii) la mayor conciencia de la importancia del gerenciamiento de la empresa agropecuaria; (iii) la búsqueda de diferenciación de productos, y (iv) la búsqueda de la integración de la producción en una cadena agroindustrial y comercial.

La moderna tecnología agropecuaria se caracteriza por una mayor participación de la ciencia, y por la incorporación de tecnologías de información a las más conocidas de insumos y procesos que dominaron en el agro pampeano desde los años 60. 

Eduardo Trigo

Grupo CEO

Consecuencias económicas de la transformación agrícola

El cambio tecnológico es clave para el desarrollo de la agricultura y la mejora de los ingresos de los agricultores. Su importancia radica en que la producción agropecuaria depende de un factor fijo, la tierra, y comercializa sus productos en mercados sobre cuyos precios los agricultores no pueden ejercer influencia. Por lo tanto, el ingreso de los productores depende directamente de la productividad de sus recursos. Estas restricciones incentivan la permanente incorporación de tecnología, única vía para lograr el sostenido incremento de los ingresos. Si en lugar de considerar la situación de cada productor se mira a escala del país, la situación es similar, aunque con algunas variantes. En muy pocas circunstancias de mercado un país logra influir sobre los precios. Por ello, la búsqueda de alternativas para reducir los costos de producción y aumentar la productividad —otra vez, cambio tecnológico— resulta el camino obligado para aumentar los ingresos del sector. En el caso particular de la Argentina, que compite en mercados fuertemente influenciados por los subsidios a la producción y exportación de los países de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), es especialmente necesario incorporar nuevas tecnologías para mantener presencia y competitividad.

El continuo deterioro de la participación argentina en los mercados agropecuarios a lo largo de buena parte del siglo XX fue reflejo directo del bajo nivel de incorporación de nuevas tecnologías y el consecuente estancamiento de su productividad. En los últimos años, principalmente por el auge de la soja transgénica (que actuó como impulsora de otros factores latentes), se revirtieron esas tendencias y comenzó un ciclo de gran dinamismo. Se duplicó la producción anual de cereales y oleaginosas, la cual aumentó de 35 a más de 70 millones de toneladas entre mediados de la década del 80 y la actualidad, y, consecuentemente, crecieron las exportaciones, que recuperaron algo del terreno perdido en las décadas anteriores. Ello modificó la relación del sector con el resto de la economía, especialmente en materia de generación de empleo: entre 1997 y 2003, el empleo en el sector agroindustrial creció más del 30%.

Las consecuencias económicas de este proceso han sido altamente significativas, no solo porque cayeron los costos de producción (en unos 20 dólares por hectárea para la soja tolerante a herbicidas), sino, también, porque se pudo extender el cultivo de la llamada soja de segunda, es decir, la práctica de sembrar soja, que es un cultivo de verano, inmediatamente después de cosechar un cultivo de invierno (como el trigo), con lo cual se ob-

tienen dos cosechas en el año en lugar de una, como era habitual. Si bien esta práctica era conocida, en muchas áreas no era factible con las tecnologías convencionales, lo que cambió con la aparición de soja tolerante de herbicidas, pues por medio de las técnicas de siembra directa se pudo reducir el tiempo entre cosechar el cultivo de invierno y sembrar el de verano. El autor estimó que, desde 1996, el efecto de doble cultivo anual representó una expansión virtual de la superficie agrícola de unos 4 millones de hectáreas. Si bien en parte la soja sustituyó otros cultivos estivales (principalmente el maíz y las demás oleaginosas), la expansión del área de soja de segunda fue el fenómeno económico más importante, particularmente en cuanto a ingresos de los productores.

Así, la producción de soja pasó de unos 11 millones de toneladas en 1997 a cerca de 35 millones en la actualidad, y las exportaciones de oleaginosas crecieron más del 300%. También cambió la composición de esas exportaciones, ya que creció la proporción de harinas y aceites a expensas de los porotos de soja, lo cual implicó exportar productos de mayor valor, con la consiguiente movilización de más capacidad productiva interna. O dicho en términos más técnicos, se incrementó el valor agregado de las exportaciones agropecuarias y se multiplicaron sus encadenamientos internos. El efecto combinado de estos factores produjo, en el período 1996-2001, un beneficio económico directo estimado en más de 5100 millones de dólares (tabla 1). A la fecha, ese beneficio acumulado podría haber alcanzado los 8500 millones de dólares, el grueso del cual fue a manos de los productores: el 70% como consecuencia de los aumentos en la producción (por aumento del área sembrada, en especial por haberse ampliado la tradicional frontera agrícola de la pampa húmeda, y por mayores rindes) y el 30% debido a reducción de costos. Ello, por otro lado, se reflejó en aumentos del precio de la tierra.

Además de estos beneficios económicos directos, hubo efectos indirectos, producidos por el encadenamiento de las exportaciones agrícolas con el resto de la economía. Se ha estimado que, entre 1997 y 2003, se crearon más de 270.000 nuevos puestos de trabajo,

algo muy notable si se considera que, durante el mismo período, la tasa global de desocupación de la economía argentina se duplicó y llegó a alcanzar cerca del 23% en 2001-2002. El total del empleo agroindustrial alcanzaba unos 1,1 millones de personas en 2003.

En adición, es necesario tomar en cuenta ciertos beneficios ambientales, que acá solo se mencionan para trazar un panorama completo, pues los tratan otros autores en este volumen. Esos beneficios, que también tienen una dimensión económica (aún no estudiada lo suficiente como para que se pueda poner en números), son de dos tipos. El primero es la recuperación de la fertilidad de los suelos, la cual, al comienzo del ciclo, estaba fuertemente amenazada como resultado de la clase predominante de prácticas agrarias. En esto se ha verificado una interacción positiva entre soja transgénica y, primero, las distintas técnicas de labranza poco intensa del suelo y, después, la siembra directa, sobre todo a partir del momento en que se dispuso de soja resistente al herbicida glifosato. Como se aprecia en la figura 1, el crecimiento del área bajo siembra directa creció al mismo ritmo que el empleo de glifosato. Hoy se siembran con esta modalidad casi 16 millones de hectáreas (poco menos del 60% de la superficie cultivada en el país). Así, la sinergia entre soja tolerante a herbicidas y siembra directa haría una contribución cierta a recuperar la fertilidad de los suelos, la cual, a su vez, repercute sobre la productividad actual y futura de la tierra. Otro beneficio ambiental que se atribuye a la siembra directa, y sobre el que es difícil decir mucho más que enunciarlo, es su contribución a mitigar el efecto invernadero, que se produciría tanto por la incorporación de materia orgánica en los suelos (lo que evitaría que el carbono de esta ingresase en la atmósfera en forma de CO₂) o por el menor uso de combustibles fósiles y, por ende, de menor emisión de CO₂ a la atmósfera, debido a la reducción del uso de maquinaria agrícola.

El segundo tipo de beneficios ambientales se relaciona con la índole del herbicida utilizado y cómo afecta la calidad del agua y la salud de los trabajadores rurales. Con la soja tolerante a herbicidas se produjo una importante

Año	Beneficios a productores			Beneficios a proveedores			Total
	Menor costo	Más producción	Total	Glifosato	Semilla	Total	
1996	33,48	91,43	124,91	28,89	16,02	44,91	169,81
1997	63,94	214,86	278,79	47,74	33,41	81,17	359,97
1998	97,32	306,29	403,61	56,17	49,43	105,61	509,22
1999	124,04	594,57	718,61	74,62	75,24	149,86	868,47
2000	142,83	875,18	1.028,02	93,37	99,09	192,46	1.210,48
2001	156,53	1.469,76	1.626,28	164,27	174,32	338,6	1.964,88
Total	618,14	3.552,08	4.170,23	465,09	447,51	912,60	5.082,83

Tabla 1. Beneficios económicos de la siembra de la soja transgénica en la Argentina, 1996-2001, en millones de dólares. Fuente: Trigo *et al.*, 2002.

sustitución de atrazina por glifosato. Este, de acuerdo con la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (1988), pertenece a una categoría considerada 'prácticamente no tóxica', pues carece de acción residual y se descompone rápidamente en el suelo, cosa que no parece posible afirmar de aquella. Si bien se produjo un significativo aumento tanto del número de aplicaciones de herbicida (que subieron de 1,97 a 2,30 por cosecha), como de la intensidad de su uso (de 2,68 a 5,57 litros por hectárea), ese aumento se concentró, prácticamente en su totalidad, en herbicidas de menor riesgo para la salud humana.

Estas transformaciones de la agricultura argentina, acaecidas sobre todo desde los años 90 (aunque en las décadas del 70 y el 80 también hubo aumentos de productividad), tuvieron origen en la confluencia de las transformaciones tecnológicas comentadas con cambios de políticas macroeconómicas, en particular, la eliminación de los impuestos (retenciones) a las exportaciones agropecuarias, la reducción de los aranceles a la importación de insumos y bienes de capital, y la desregulación de algunos mercados y servicios clave para el funcionamiento del sector agropecuario. Como consecuencia, la Argentina agropecuaria es hoy un país sustancialmente distinto del que era hace veinte años. Los cambios, sin embargo, no han venido exentos de riesgos, resultantes, en gran medida, de cómo se han encadenado los factores tecnológicos y de mercado para definir el nuevo perfil productivo del país, particularmente el de la región pampeana.

La preocupación mayor que se puede expresar en materia económica hoy se relaciona con el progresivo predominio de la soja en la estructura productiva del sector agropecuario, al punto de que, con alguna exageración, se oye hablar tanto de monocultivo como de 'sojización' del país. En la actual campaña agrícola, el cultivo de soja alcanza el 50% del área sembrada con cereales y oleaginosas y cubre el 46% del volumen total esperado de producción. En 2004, la soja significó alrededor del 20% de las exportaciones totales del país. A partir de estos números se ha ido instalando en la opinión pública la idea de que la combinación de siembra directa con soja tolerante a glifosato no constituiría en las zonas tradicionales un sustituto sostenible a la rotación de cultivos o a la explotación agropecuaria mixta (es decir, agricultura y ganadería). Por otro lado, la expansión agrícola que está aconteciendo en zonas marginales, debida en su casi totalidad a la soja, también podría resultar incompatible con la sustentabilidad de la producción agropecuaria en esas regiones.

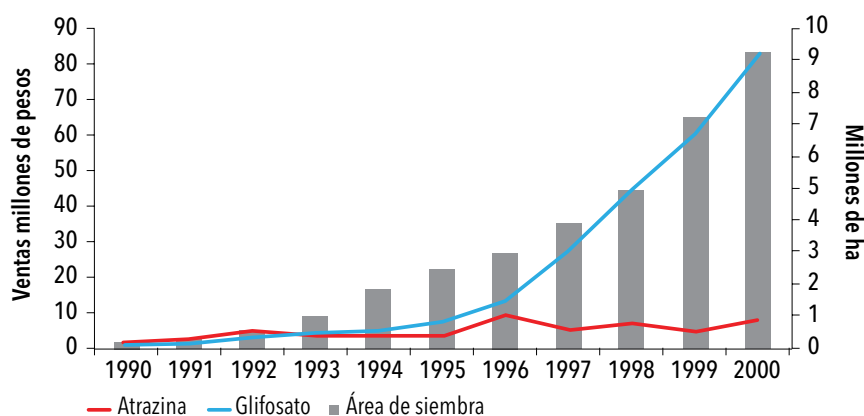


Figura 1. Evolución de la superficie con siembra directa y herbicidas utilizados en la agricultura argentina. Fuente: Trigo *et al.*, 2002.

Esta nota no es lugar apropiado para entrar en los fundamentos técnicos de este debate sino para discutir posibles impactos económicos del fenómeno. En primer lugar, la concentración de la producción en un cultivo sugiere ineficiencia en el uso de los recursos, ya que tal especialización productiva contrasta con la diversidad agroecológica de los ambientes naturales del país. Esa diversidad permite tener, como ocurrió en períodos anteriores, una variedad mucho mayor de producción y exportaciones, que probablemente esté mejor alineada con las nuevas tendencias de la demanda en el mercado de alimentos en cuanto a su diversidad, calidad y valor agregado. En segundo lugar, la concentración de la producción implica riesgos macroeconómicos y sociales, sobre todo si se agrega a ella el hecho de que la Argentina exporta su producción agrícola a un reducido espectro de países: la Unión Europea, China y Brasil compran más del 50% de ella.


Estos riesgos se ven potenciados por la importancia de la soja transgénica en la oferta argentina, dada la incertidumbre imperante acerca de cómo evolucionará la aceptación de los cultivos genéticamente modificados en los mercados mundiales, especialmente a partir de la entrada en vigencia del protocolo de Cartagena (un acuerdo internacional que rige la transferencia, manejo y uso de organismos vivos modificados por medio de la biotecnología moderna, particularmente en lo que hace a su movimiento a través de las fronteras nacionales) y la adopción, por parte de algunos de los principales importadores, como la Unión Europea, de nuevas normas en cuanto al etiquetado y la 'trazabilidad' (posibilidad de rastrear con precisión su origen) de este tipo de productos. Hasta ahora, el país fue capaz de aprovechar los beneficios de las nuevas tecnologías y, a partir de ellas, desencadenar una significativa transformación productiva. Debe considerarse en estos momentos, sin embargo, la factibilidad y conveniencia de mantener el mismo rumbo.

La competitividad de la soja argentina se basa en factores tecnológicos y de mercado. Cuando las nuevas tecnologías estuvieron disponibles, el país ya reunía las condiciones necesarias para su rápida adopción. Existía una industria de semillas en la que participaban activamente firmas nacionales, filiales de empresas multinacionales e instituciones públicas; había una larga tradición de mejoramiento genético de especies cultivadas, y con la creación de la Comisión Nacional Asesora en Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) en 1991, se contó con el marco básico requerido para la regulación y difusión de organismos transgénicos. El panorama se completó con la caída del precio del glifosato, impulsada por el vencimiento de la patente que lo protegía y el progresivo ingreso de empresas de producción y comercialización en el mercado de ese insumo.

Además de lo anterior, téngase en cuenta que, por su extensión, la Argentina era una de las áreas más importantes de aplicación potencial de las nuevas tecnologías, fuera de sus países de origen. Existían, pues, los incentivos adecuados y una situación excepcional para la rápida adopción de dichas tecnologías. Por otra parte, en el momento en que fueron incorporadas, la soja resistente a herbicidas ya estaba aprobada para su importación y consumo en la Unión Europea. No había, por lo tanto, restricción de acceso a los mercados más importantes. Incluso existían ciertas ventajas derivadas de un tratamiento arancelario más beneficioso que el aplicado a cereales y al girasol. Así, la adopción masiva de la soja resistente a herbicidas se explica por su mayor rentabilidad en comparación con los cultivos alternativos. Un estudio de la Bolsa de Cereales (Jorge Ingaramo, *La renta de la tierra pampeana*, 2005) estableció que, en las últimas trece campañas agrícolas, solo la soja tuvo rentabilidad positiva cada uno de los años, mientras que el trigo, el girasol e incluso el maíz mostraron resultados negativos en varios de ellos.

Una mirada global a lo ocurrido en los últimos quince años en la agricultura argentina permite concluir con una nota optimista. Las empresas del sector supieron aprovechar eficientemente las oportunidades y generaron, como consecuencia, importantes beneficios económicos para el país. Como todo cambio de estructuras productivas, las transformaciones tuvieron costos, y existen cuestiones que generan preocupación, tanto sobre lo que podría ocurrir si cambiaran las condiciones económicas, cuanto acerca de la sustentabilidad de la estrategia

productiva. Pero, acerca de lo primero, conviene recordar que el sector agropecuario ha demostrado gran flexibilidad para responder a cambios de precios relativos. El mismo avance de la soja no parece reflejar otra cosa que esa flexibilidad, dada la alta rentabilidad del cultivo comparada con las alternativas que podían elegir los productores. Cabría así esperar que, si dichas condiciones cambiaran, las estrategias productivas se ajustasen en función de las nuevas. Pasó en este ciclo y debería pasar en el futuro. Cabe, quizá, un llamado de atención sobre la expansión agrícola en áreas no tradicionales, debido al hecho de que, a medida que se intensifica la tecnología (por ejemplo, por un mayor uso de insumos), aumentan también los riesgos de que se produzcan efectos negativos, como degradación de suelos, contaminación de acuíferos, etcétera. En esas nuevas áreas, el avance de la agricultura sobre la ganadería y el bosque fue reflejo de la falta de competitividad de estas opciones productivas, algo que resultó, en parte, de la falta de políticas públicas efectivas para establecer los mercados que las hagan más rentables. Tal avance de la agricultura sobre el bosque y la ganadería difícilmente se detenga, a menos que el bosque adquiera valor como tal y se aseguren las condiciones sanitarias para que los recursos ganaderos de esas regiones puedan expresar a pleno todo su potencial. En las áreas agrícolas tradicionales, sería importante que los poderes públicos tomaran medidas que hicieran recaer en cada empresa los costos que pudiese ocasionar a la sociedad su posible mal manejo de los recursos.

La experiencia pasada demostró que se pudo aprovechar tecnología traída del extranjero, algo que se logró hacer por sus características agroecológicas. En circunstancias de crisis y de restricciones a la inversión, ello significó una gran ventaja. Sin embargo, los procesos innovativos provenientes de otros medios reflejan prioridades y rasgos propios de sus economías de origen, que no necesariamente coinciden con los de la Argentina. Esto indica que el fortalecimiento de la investigación local, tanto convencional como biotecnológica, constituye una prioridad, aun cuando se acepte que su fomento pueda ser difícil en las actuales circunstancias del país. Muy probablemente, en el corto y hasta mediano plazo, haya que concentrar la atención en percibir de manera clara los rasgos distintivos y particulares de la agricultura argentina, y obrar en consecuencia en las negociaciones vinculadas con la transferencia de tecnología y las inversiones del sector. 

Carlos E Reboratti

Facultad de Agronomía, UBA

Efectos sociales de los cambios en la agricultura

Todo cambio productivo tiene un efecto social, planificado o espontáneo, buscado o sorpresivo, directo o indirecto, positivo o negativo, de diferente valor según la posición de quien lo mire. Un fenómeno de la magnitud de la expansión del cultivo de soja en la Argentina, que, además, se produjo a gran velocidad, no podía dejar de afectar a la sociedad, tanto en el ámbito local o regional como en el nacional. Lo mismo que para cualquier cuestión social, en la medida en que se vaya más allá de la descripción y exposición de datos (y aun eso sería discutible), toda evaluación resulta afectada por el marco ideológico que se utilice. Por ejemplo, en el caso de la soja, la evidente concentración de las explotaciones que ha resultado del proceso puede ser mirada por algunos como una catástrofe social, y por otros como una consecuencia positiva y necesaria de la modernización económica.

La expansión de la agricultura en general, y de la soja en particular, generó en la sociedad argentina un notable intercambio de opiniones sobre sus ventajas y desventajas. Entre los temas discutidos se encontró su impacto social. El debate tendió a polarizarse entre los que exaltaron las consecuencias negativas y los que destacaron las virtudes, unos y otros, casi siempre, de manera exagerada. El propósito de este artículo es brindar una visión lo más clara posible de los efectos sociales que se produjeron, y

adelantar algunas de las posibles interpretaciones, que los lectores podrán aceptar, rechazar o complementar. El artículo enfocará dos aspectos. En primer lugar, los efectos directos e indirectos sobre los diferentes actores sociales. Debido a las diferencias notables de estructura social y agraria entre la región pampeana y el norte argentino, el análisis se hará por separado para cada región. En segundo lugar, y más brevemente, la reacción de la opinión pública.

La expansión de un nuevo cultivo —y mucho más cuando el proceso es rápido y amplio— genera y a la vez se apoya en un cambio de lo que podríamos llamar la estructura agraria de una región, que incluye aspectos como el marco ambiental, el uso del suelo, el tamaño de las explotaciones, la tenencia de la tierra, la población ocupada directa e indirectamente por la actividad agraria, la tecnología utilizada y la organización del territorio. La transformación de la estructura agraria, a su vez, impulsa los cambios sociales, por lo que resulta imposible hablar de estos sin hacer referencia a aquella.

En la región pampeana (provincias de Buenos Aires, sur de Santa Fe y Córdoba, La Pampa y Entre Ríos), el primer cambio que llama la atención es el experimentado por los productores agropecuarios, los actores sociales directamente relacionados con la producción de soja. Entre estos tomaron preeminencia las grandes (en térmi-

nos relativos al sector) empresas, parte de una compleja cadena de producción agroalimentaria, aunque también intervinieron empresas medianas. Para las tres provincias pampeanas más representativas de la región (Buenos Aires, Córdoba y Santa Fe), el censo agropecuario de 2002 indicó que el 46% de los cultivos oleaginosos (de los cuales la mayor parte era soja) provino de unidades de más de 1000ha, y el 41% de establecimientos de entre 200ha y 1000 ha. La típica franja de chacareros pampeanos, ubicada entre las 100ha y 200ha por establecimiento, solo cultivó el 6% del total. Ante estos datos, algunos autores indicaron que el país se estaba incorporando al modelo global de la moderna industria agroalimentaria, la agribusiness, en el cual las grandes empresas proveedoras de biotecnología y granos marcan el compás de la producción y dan escaso margen de maniobra a los propios productores agrícolas. Estos solo resultan un eslabón disperso de relativa debilidad en una cadena dominada por los eslabones económicamente más fuertes. Como consecuencia, se produciría una concentración de ingresos y una pérdida de autonomía de las decisiones, tanto individuales como colectivas, y, finalmente, un efecto de exclusión social de los productores que no pudiesen entrar en el sistema. Por otro lado, los voceros de la actividad indicaron que el predominio de la gran empresa es, simplemente, una característica propia de la modernización agraria, y subrayaron que, antes que preocuparse por eso, hay que advertir la aparición de una *cadena de valor* alrededor de la soja, que pondría a la agricultura a la altura de otros sectores de la economía en cuanto a su capacidad de generar riqueza y trabajo, y, por ende, de afectar positivamente a la sociedad.

Es posible que el proceso esté a mitad de camino entre estas posiciones polares. Por una parte, es verdad que la soja está incluida en una cadena agroalimentaria en la que los intereses internacionales son importantes (después de todo, la soja es un producto cada vez más característico del mercado internacional). Por otra parte, también es verdad que los productores no resultan necesariamente atados de pies y manos ante el capital internacional, ya que tendrían suficiente tamaño e independencia como para tomar decisiones propias. (La utilización masiva de semillas producidas fuera del control de las compañías multinacionales lo demuestra, e indica también, dicho sea de paso, bastante escaso apego a las normas de propiedad intelectual.) Además, el Estado puede regular las relaciones entre las grandes multinacionales y los productores (sin entrar a juzgar cómo está actuando en estos momentos). Una presencia activa del Estado no significaría que los productores se desentendiesen del asunto y no defendieran sus intereses, lo que muchos tendrían que hacer, incluso, en los foros internacionales. Para evitar que la soja tenga indeseados efectos negativos de gran escala en el mediano plazo, es posible que convenga partir de la posición de fuerza en que se ve el país, simple-

mente por ser uno de los principales exportadores de la oleaginosa en un mercado en expansión.

Adoptar el modelo de gran empresa para la producción agropecuaria significa que, por la tecnología adoptada y el capital necesario para llevarla adelante, las superficies cultivadas deban alejarse bastante de los tamaños usuales de los predios agrarios pampeanos. El crecimiento del cultivo de la soja produjo, en efecto, una concentración, si no en la propiedad de la tierra, en su uso, lo que posiblemente sea menos dramático. Esta concentración de la tierra en menos manos, sin embargo, fue señalada repetidamente como una consecuencia social negativa, al apartar a la estructura agraria pampeana del tradicional predominio del pequeño y mediano productor.

La rapidez con que se produjo esa concentración se debe a la singular característica de la producción de soja, que combina varios tipos de tenencia, como propiedad, arriendo y aparcería. Esto puede explicar, en parte, la disminución del número de unidades de producción que se advierte comparando los censos agropecuarios de 1988 y 2002: en el segundo se registraron 100.000 explotaciones menos que en el otro, una reducción a poco menos de la mitad. Pero es posible que buena parte de los productores desplazados haya mantenido la propiedad de la tierra y la haya arrendado a quienes la explotaron. Tal decisión, teniendo en cuenta el buen precio de los arrendamientos, no dejó de ser racional para un productor que no quería desprenderse de su capital en tierras.

El arriendo en zona buena para soja de la región pampeana es una operación que se hace normalmente teniendo en cuenta el rendimiento potencial del cultivo. De este modo, se fija entre ambas partes el pago del equivalente del precio de cierta cantidad de quintales (una combinación entre arriendo y aparcería, donde el riesgo compartido no está en el rendimiento sino en la oscilación del precio). El valor se ubica entre los 12 y los 16 quintales por hectárea, lo que en momentos de mayor precio significan alrededor de 900 pesos por hectárea anuales y, con precios más cercanos a los promedios históricos, poco más de 500 pesos. Si pensamos en un propietario de 100 hectáreas que no quiere desprenderse de su tierra y decide arrendar, eso significa un ingreso anual de entre 50.000 y 90.000 pesos (o 16.000 y 30.000 dólares), lo cual lo ubicaría en el 10% de la población de mayores ingresos del país. De los 35.800 productores de entre 100 y 200 hectáreas que había en 1988, años más tarde quedaban 24.500. Por otra parte, los productores que hubiesen decidido vender su tierra hubieran podido obtener precios de 2500 dólares por hectárea o más (según calidad y ubicación), por lo que la venta de dicho predio de cien hectáreas (pequeño en términos de soja) hubiera redituado un capital de por lo menos 250.000 dólares. Tal desplazamiento de pequeños productores pampeanos por la soja no significaría, en todo caso, una expulsión que deja a quien abandona las tareas agropecuarias en

la miseria, sino un paso más en el proceso de urbanización de la sociedad pampeana que se constata desde hace años.

Si el negocio de la soja no ha sido para cualquiera, sería difícil decir que, por lo menos en la región pampeana, excluyó a quienes no tomaron esa opción. En todo caso, no tomaron la decisión de emprender lo que fue un muy buen negocio, pero nada les impidió seguir con sus producciones anteriores. Hay que recordar que los productores pampeanos, después de todo, son capitalistas que viven en una sociedad capitalista, y que por ende buscan el mayor y más rápido beneficio. Si ello los lleva a dar

en arrendamiento o vender sus campos para aprovechar el ímpetu de la soja, no es algo que salga de sus opciones racionales, aunque parezca una decisión dramática o contraproducente por otras razones. Habría que reconocer que los productores pampeanos tienen derecho (y tendencia) a actuar inteligentemente y no como simples marionetas de un sistema superior.

La concentración de tierras en menos manos fue un proceso cierto y objetivamente mensurable. Entre 1988 y 2002, hubo en la región pampeana un aumento del tamaño medio de los establecimientos de 375ha a 776ha y una disminución de la participación de los productores de menos de 200ha del 12,6% al 8,6% del total de superficie ocupada. Las consecuencias sociales del fenómeno son percibidas de manera distinta. Resultan negativas para una visión 'ruralista' del campo pampeano, que prefiere que las decisiones de producción estén en manos de muchas empresas, idealmente de familias que viven en el campo. Pero son positivas para una concepción de la producción agraria como una actividad capitalista, con economías de escala y estructura empresarial que separa la propiedad del capital de decisiones profesionales tomadas en los centros urbanos. Ya desde antes de la aparición fulgurante de la soja, se había podido constatar en el agro pampeano cómo muchas de las empresas agropecuarias reemplazaban la gestión familiar por una profesional, aun cuando continuaran siendo empresas de familia por la propiedad del capital.

Otro efecto social que se menciona con frecuencia es el producido por la decadencia relativa de algunas actividades rurales pampeanas, como la producción de leche, y que su reemplazo por la soja implicaría menos mano de obra empleada y traslado de la población desocupada a otro lado. En este caso habría que analizar si, efectivamente,



Rastra de discos.

se trata del reemplazo de tambos por soja, o si es la evolución propia de la producción tambera, que también se estaría moviendo hacia explotaciones mayores y más tecnificadas. Si este fuera el caso, no habría que enfocar a la soja sino a los rasgos propios de la producción tambera (o alguna otra, si fuera del caso) en un mundo globalizado. Muchas veces la soja ha puesto en descubierto problemas subyacentes en el agro que no necesariamente deberían adjudicarse a la expansión de su cultivo.

Así, con frecuencia se ha señalado que la soja activó el éxodo rural. En realidad, hace más de medio siglo que la región pampeana viene 'expulsando' (para seguir con el uso de este término algo melodramático) población rural, por los sucesivos pasos de modernización y de la producción agropecuaria. La emigración rural se debió a la combinación de muchos factores: la desaparición del pequeño chacarero arrendatario, la mecanización de las tareas agrícolas, la difusión de las ventajas de la vida urbana (como empleo, educación, salud, esparcimiento) por la educación y las comunicaciones masivas, la conveniencia de no fragmentar campos divididos por herencia y otros. La mejora en los transportes hizo que muchos productores medianos y pequeños optaran por vivir en las ciudades cercanas a sus predios, sin dejar de trabajar en ellos. La urbanización del campo, muy evidente en la región pampeana, tendió a borrar los límites entre lo urbano y lo rural. Hoy la Argentina es un país esencialmente urbano, ya que cerca del 90% de la población vive en aglomerados urbanos de más de 2000 habitantes. Este es un proceso irreversible y no necesariamente malo. La tabla 1 proporciona las cifras que permiten comprender la escala y los alcances del fenómeno.

La región pampeana viene perdiendo población casi constantemente, pero el número de emigrantes fue dis-

minuyendo. En el período 1991-2001, en pleno auge de la soja, perdió menos población que en el decenio anterior. Ello no permite concluir que la soja retuvo población rural en la región pampeana, pero por lo menos indica que no fue una clara causa de despoblación. Bajo reserva de realizar estudios más profundos sobre el tema, se podría decir que la soja no frenó el éxodo rural y, posiblemente, lo aceleró, pero no se la puede culpar de haberlo iniciado.

La otra cara de la moneda es que la soja produjo una notable bonanza económica en los pueblos y en las ciudades de la región, que se extendió por la cadena agroindustrial y de servicios relacionados. El desplazamiento de los chacareros que no alcanzaban la escala requerida para producir soja y decidieron arrendar o vender sus campos alimentó esta reactivación urbana con su capacidad de gasto generado por las ganancias de la soja.

Por su escala y sus características, la expansión de la soja produjo una concentración de ingresos, proceso no diferente, por otra parte, del que ocasionaron otras actividades económicas del país en los últimos quince años. Desde ese punto de vista, la soja no ha ayudado a la buena distribución del ingreso. Se argumenta que tal concentración de la riqueza, propia de esta etapa de expansión capitalista agraria, es negativa en sí misma y, a la vez, achica los mercados de trabajo. Pero también se indica que se han redistribuido ingresos por la vía de la ampliación y reactivación de la cadena de actividades ligadas a la producción de soja (semilleros, aceiteras, fábricas de maquinaria agrícola, servicios relacionados, etcétera), algo que, además, amplía el mercado de trabajo. La producción misma de soja es más intensiva en el uso de capital y tecnología que de mano de obra: acorde con los cambios acaecidos en los últimos decenios en toda la producción agrícola extensiva, emplea poca mano de obra y predominantemente muy capacitada, por lo cual sería poco realista pensar que tendría efectos positivos sobre el empleo directo. Los podría tener, sin duda, sobre el empleo indirecto, en otras

Año	Población rural	Cambio entre censos	Cambio relativo (%)
1947	3170		
1960	2362	808	-25,5
1970	1919	443	-18,7
1980	2011	92	4,8
1991	1659	-352	-17,5
2001	1432	-227	-13,7

Tabla 1. Población rural de la región pampeana (en miles). Fuente: censos nacionales de población.

ramas de la economía, aunque esto también requiere un análisis cuidadoso, pues la soja es parte de una cadena agroindustrial en la que prácticamente todos los eslabones tienen las mismas características, es decir, son intensivas en capital y tecnología con relación a la mano de obra. Además, el empleo indirecto generado no necesariamente capta en lo inmediato al trabajador rural desplazado, pues puede no haber coincidencia geográfica estricta entre unos y otros puestos de trabajo, para no mencionar problemas de calificaciones laborales diferentes.

La expansión de la soja en el norte del país (norte de Santa Fe y Córdoba, Chaco, Formosa, Santiago del Estero, Tucumán, Salta y Jujuy) fue resultado directo del proceso pampeano, porque el éxito del producto ocasionó allí un alza en los precios de la tierra, lo que llevó a grandes productores a buscar tierras más baratas, aunque tuviesen mayores dificultades de manejo y fuesen más propensas a la degradación. La aplicación, sin la adaptación necesaria, de un modelo pampeano de producción tal vez sea la parte más débil de esta expansión a tierras más áridas, pero también los efectos sociales han sido distintos, debido a que la estructura agraria inicial era totalmente diferente de la pampeana y el impacto relativo de la expansión fue mayor. Si bien el cultivo de soja en el norte del país no ocupa una alta proporción de la superficie, el efecto de su expansión sobre la relativamente reducida economía agrícola regional fue proporcionalmente mucho mayor. La expansión de los oleaginosos significó el 27% de aumento de la superficie total implantada en el noroeste, mientras que en la región pampeana solo llegó al 10%. Por otra parte, el modelo centrado en la gran empresa se exacerbó en el caso del noroeste. Más del 23% de la producción de soja de Santa Fe, principalmente concentrada en el área pampeana del sur de la provincia, se hace en predios



Cinzel en acción.

menores a 200ha, mientras que en Santiago del Estero solo 1,4% de la producción viene de tales predios. En el norte, la soja impulsó estructuras agrarias profundamente polarizadas entre grandes latifundios y muy pequeños minifundios explotados por campesinos, con los consiguientes conflictos sociales.

En el Chaco, la estructura agraria original se caracterizaba por ser una mezcla de pequeños y medianos productores de algodón, medianos agricultores de maíz y girasol y medianos y grandes ganaderos vacunos, distribuidos según las características ambientales de cada lugar. Aunque (otra vez) sea necesario analizar con más profundidad el tema, no parece que la expansión de la soja se hubiera producido en detrimento de los minifundistas aldoneros, que fueron el histórico centro de las crisis sociales chaqueñas. Hay que tener en cuenta que para un productor de soja es sumamente complicado arrendar o comprar un gran número de pequeñas parcelas (los minifundios aldoneros tienen alrededor de 10ha a 20ha), normalmente con suelos agotados o de muy baja productividad después de muchos años de monocultivo, y además salpicadas de alambrados, viviendas, galpones, molinos, etcétera, que es necesario eliminar para la producción extensiva de soja. Resulta más fácil y conveniente arrendar o comprar predios de mayor tamaño, como son los medianos y los grandes utilizados para maíz, girasol o ganadería.

El sector aldonero del Chaco ha sido clásicamente uno de fuertes conflictos sociales. En situaciones de sobreproducción y de baja de precios, las crisis produjeron una verdadera expulsión masiva de población. Así, en el período intercensal 1947-1960, el Chaco perdió población en términos absolutos, pues emigró un número mayor que el saldo del crecimiento vegetativo del período. Es difícil pensar que la expansión de la soja produzca una crisis semejante. Si esta sucediese, sería mucho más consecuencia de los fluctuantes precios del algodón y de la disminución de los rendimientos de este cultivo, que de otra cosa. Por otra parte, buena parte de los campos dedicados a soja estaban total o parcialmente cubiertos por bosques y pastizales, en diferente estado de degradación. Por ello, y porque el medio natural chaqueño es muy diferente del pampeano, se puede concluir que la expansión de la soja en el Chaco ocasionará trastornos ambientales mucho más que sociales, lo que no quiere decir que, en otra escala, esas dimensiones no coincidan.

En Santiago del Estero la situación es diferente. La soja llegó desde dos frentes: uno fue el avance de los cultivos de la región pampeana y del Chaco, que se extendieron sobre el este de la provincia. El otro fue la continuación, en el noroeste santiagueño, de la agricultura de Salta y Tucumán. La presencia de un importante número de campesinos dedicados a la pequeña ganadería en campos fiscales generó un conflicto por la tierra entre estos y las grandes compañías sojeras, que atrajo mucha publicidad,

en el que ambos sectores apelaron más a la retórica que a la información. En Santiago del Estero, así como en todo el noroeste, la situación original se caracterizaba, nuevamente, por una estructura agraria socialmente muy polarizada, diferente de la de la región pampeana. En adición, tres factores incrementaban la posibilidad de conflicto: la existencia de vastos campos fiscales, la tenencia precaria de la tierra por parte de grupos campesinos y la disponibilidad de grandes extensiones sin desmontar potencialmente aptas para la agricultura. El último plantea sobre todo una cuestión ambiental, pero las características de la discusión le agregan también una dimensión social.

En Tucumán y Salta la soja ocupó una franja relativamente estrecha ubicada en su zona este, entre el pie de las estribaciones andinas y la llanura chaqueña, con precipitaciones anuales suficientes para permitir la producción de secano con razonable probabilidad de éxito, aunque las lluvias varían de un año para otro y disminuyen de oeste a este. Algunas de las características de Santiago del Estero se repiten en estas provincias, y, en Salta, se agrega la presencia de poblaciones indígenas, muchas veces en situaciones conflictivas por la posesión de la tierra.

En el noroeste el impacto social de la soja adquirió mucha más fuerza que en la región pampeana, porque produjo el choque de dos formas productivas –casi se podría decir de dos formas de vida– que las circunstancias volvieron antagónicas: pequeños productores criollos e indígenas enfrentados con grandes empresas. Ambos grupos compiten por el mismo espacio con fines diferentes. En un caso se trata de economías de subsistencia, de muy pequeña escala y con fuerte apoyo en la recolección de recursos naturales del monte; en el otro se trata de economías capitalistas para las cuales el bosque es un obstáculo. Prácticamente no existen en el noroeste los productores medianos, de tradición agrícola, que forman la trama social de la producción pampeana. Por ello, el impacto de la llegada de la soja fue mucho más brusco. Para complicar la situación, ni el Estado Nacional ni los estados provinciales exteriorizaron una posición clara. La discusión, en la que terciaron asociaciones ecologistas, grupos políticos y entidades sociales de diverso tipo, se hizo cada vez más enredada y polarizada.

En tal discusión, resulta difícil separar los hechos de las opiniones. Un caso notorio de debate confuso e inconsecuente se produjo por la decisión del gobierno salteño de liberar para el cultivo una reserva forestal en la zona de Pizarro, que, además de tener ese estatus jurídico en el ámbito provincial, estaba parcialmente ocupada por pequeños ganaderos criollos y wichis, una de las etnias indígenas. El tono de la argumentación, tanto de los productores que hicieron pública su posición como de las asociaciones indigenistas y ecologistas, con tendencia a caer en el fundamentalismo, dio poco lugar para un debate serio y profundo. Si bien la mayor parte de la discusión se centró alrededor de los efectos ambientales del

desmonte, quedó desdibujado el hecho de que el desalojo de los pobladores de esa extensión de monte, ocupantes de tierras fiscales o privadas, significaría privarlos de sus medios de subsistencia, basados en la recolección y la pequeña ganadería, y entorpecer los esfuerzos de grupos aborígenes que tratan de mantener su cultura y su forma de vida.

No se trató en estos casos de un desplazamiento relativamente racional de población entre actividades productivas y formas de procurarse el sustento, como se produjo en la región pampeana. Más bien se trató de una real expulsión, dado que los campesinos y los indígenas, eternos marginados del campo, no tienen la menor oportunidad de acoplarse al proceso, ni como productores ni como asalariados ni como vendedores de su tierra (porque no es formalmente de ellos). Es posible, sin embargo, que en el noroeste haya todavía suficiente tierra privada y pública como para que convivan la gran empresa agrícola, los pequeños productores, los indígenas y las áreas de conservación. Pero esto requeriría una planificación territorial por parte del Estado, cosa que no existe. La expansión de la soja en el noroeste se ha transformado en una metáfora del conflicto entre dos países diferentes, que parecen no poder convivir.

Una diferencia adicional con el caso pampeano es que en el noroeste la soja tuvo escasa repercusión regional, pues su economía termina esencialmente dentro de las grandes compañías y no genera una demanda local de servicios e insumos (que vienen, precisamente, de la pampa húmeda). No se produce, pues, un efecto de derrame económico sobre los centros urbanos locales, la concentración del ingreso se acentúa en lugar de atenuarse y las diferencias sociales aumentan.


Además de los efectos económicos y sociales señalados, directos o indirectos, la expansión del cultivo de soja tuvo una inusual repercusión pública, pocas veces alcanzada en la historia reciente del país. Las discusiones giraron en torno a las ventajas y desventajas económicas y agronómicas del monocultivo, la repercusión ambiental de una agricultura que no rota con ganadería, el desempeño de la gran empresa agrícola, la conformación de cadenas agroindustriales, el uso de semillas transgénicas, el desmonte, los efectos sociales y económicos en el resto de la sociedad, la fragilidad de los precios internacionales, los impuestos (retenciones) a la exportación, etcétera. Prácticamente todos los días aparece alguna noticia en los principales periódicos relacionada con la soja. Por lo general, las opiniones se polarizan en dos posiciones antitéticas: a favor de la soja, sostenidas por quienes apoyan el proceso y resaltan sus beneficios, y en contra de ella, manifestadas por los que solo encuentran efectos negati-

vos. Por desgracia, poco lugar han tenido en el debate las posiciones intermedias.

La corriente prosoja es más compacta y tiene un mejor acceso a los medios de comunicación, sobre todo a los suplementos rurales de los diarios de circulación nacional. Adhieren a esta corriente las sociedades de agricultores, las asociaciones propuloras de tecnologías ambientalmente poco agresivas (como la labranza mínima o la siembra directa) y las grandes compañías semilleras y agroquímicas. El grupo antisoja es más disperso y tiende a congregarse alrededor de temas específicos, como los ambientales y los sociales, que no tienen mucho en común. Está formado por diferentes tipos de asociaciones, de las que, tal vez, la más notoria sea Greenpeace, una entidad ecologista internacional que, como suele ser su práctica, no se interesa mucho por los problemas sociales. De estos se ocupan las asociaciones regionales de campesinos, los movimientos indigenistas, diferentes iglesias, desprendimientos de partidos políticos y asociaciones de pequeños productores. Su acceso a los medios de comunicación es limitado y esporádico, y se concentran mucho más en una difusión por otros medios, como internet.

En la disputa, el primer grupo corre con dos ventajas: llamar la atención sobre un proceso económico muy exitoso (lo que no deja de tener importancia en un país con pocos logros para mostrar), y poseer recursos económicos que le dan acceso fácil a los medios de comunicación masiva. El segundo grupo, que por lo general muestra una cara más humanizada y menos tecnocrática, tiene la gran desventaja de no poder defender una alternativa que no sea la eliminación del cultivo de soja, lo que para la mayor parte de la gente es muy difícil de aceptar.

El gran ausente en todo esto es el Estado, que podría mediar entre uno y otro grupo, acercar posiciones y difundir información. Tal vez el hecho de recaudar una apreciable cantidad de dinero por las retenciones a la exportación lo ponga en una situación de juez y parte, que el sistema político no encuentra cómo manejar.

Como se desprende de todo lo anterior, el proceso de expansión sojera no tiene las características de homogeneidad que permitieran sacar conclusiones universalmente válidas con respecto a su repercusión social. Dado que en la región pampeana es un proceso de cambio de uso del suelo antes que uno de expansión física, es poco probable que esto tenga realmente una repercusión social apreciable. Diferente es el caso en el noroeste, donde si no media una intervención inteligente del Estado, todo indica que los conflictos sociales van a crecer y expandirse. Como en toda monarquía, el reinado de la soja incluye favoritos y marginados, cortesanos corruptos y nobles bandoleros. 

Roberto Oscar Bisang

Universidad Nacional de General Sarmiento

La transformación del campo argentino

De tranqueras adentro a un campo sin tranqueras

Los tiempos están cambiando –y mucho– en el campo. Cada vez se aleja más la imagen de una actividad agropecuaria lenta, anodina, favorecida por la naturaleza, que se mueve al vaivén de los ciclos climáticos y exige mucho esfuerzo físico. La sustituye otra en la que todo está en movimiento, favorecido por el vértigo de las comunicaciones, y en la que se extiende el asombro de la biotecnología aplicada a plantas y animales, y de la electrónica aplicada a las máquinas.

La tecnología moderna se incorporó al paisaje rural y es parte de las conversaciones cotidianas. El límite entre el campo y el pueblo o la ciudad se ha hecho cada vez más borroso. En el marco de una creciente heterogeneidad, 'ser del campo' empieza a tener un significado mucho más amplio que disponer de tierra o vivir en una explotación rural. Los cambios abarcan múltiples aspectos, que incluyen el productivo, el social, el ambiental y el territorial, para mencionar los principales, y tienen en común una marcada complejidad. Esto dificulta el análisis, ya que nada resulta tan simple como antes.

Varios aspectos de esta nueva realidad son objeto de controversia y de múltiples opiniones encontradas, entre otros, la sustentabilidad ambiental de las nuevas modalidades productivas, el ordenamiento territorial y la equidad en la distribución de la riqueza que generan esas modalidades. Sin quitarle relevancia a otras cuestiones, en esta nota nos centraremos en el aspecto productivo.

Mirando retrospectivamente, en una sociedad que vivió situaciones extremas durante los últimos veinte años, el campo aparece como una actividad muy dinámica. La producción agropecuaria –la tradicional producción argentina de cereales, oleaginosas y carne– creció a un ritmo sostenido durante ese lapso. Esto constituye una novedad de la que se tiene poca conciencia y marca un quiebre en la tendencia que caracterizaba a las apáticas décadas anteriores.

A inicios de la década de 1990 se producían en la Argentina unas 38 millones de toneladas anuales de granos, mientras que en la campaña agrícola 2006-2007 se cosecharon 93,6 millones. En el mismo lapso, la producción de soja, un cultivo relativamente nuevo en el país, pasó de 10,8 a 47,4 millones de toneladas, es decir, se cuadruplicó. En ese período, la superficie dedicada a la agricultura osciló entre las 20 y las 24 millones de hectáreas, pero las prácticas de doble cultivo en el mismo año equivalieron a su expansión a más de 30 millones.

La producción por hectárea también creció: el 55% en maíz, el 23% en soja y el 16% en trigo (comparando el primer lustro de la década de 1990 con el último quinquenio). Esos rendimientos resultan aun más significativos si se considera que la agricultura se extendió a zonas de menor calidad de tierras y clima menos favorable.

Esa expansión de la agricultura, sin embargo, no parece haber obstaculizado de modo significativo el crecimiento de actividades pecuarias, como la producción de



Pulverización de sembradío de soja.

carne o leche, pues en ambos casos los registros recientes se encuentran entre los máximos históricos. En 2006 se produjo un total de 10,1 millones de kilolitros de leche, valor solo superado por el correspondiente a 1999, que fue de 10,3 millones. En carnes, la producción de 2006 fue la tercera en relevancia desde 1980. ¿Qué pasó?

Inicialmente la demanda externa y más recientemente el consumo interno fueron los factores que movilizaron la mayor producción. El sector respondió sin demora con una mayor oferta. Al principio se produjo una expansión de la frontera productiva, sobre todo por la extensión del cultivo de la soja, pero también, en alguna medida, del maíz y del trigo (este asociado con la soja como segundo cultivo anual). Así, la agricultura provocó el desplazamiento de parte de la ganadería hacia zonas del país menos favorecidas por sus condiciones de suelo y clima, como Santiago del Estero, Entre Ríos, Tucumán, Salta e incluso Neuquén, en las que también hubo cierto asentamiento de la producción agrícola. Por la misma razón, tuvo lugar un confinamiento de la lechería en tierras menos fértiles.

Si bien la superficie destinada a la agricultura experimentó un crecimiento, este fue sensiblemente menor que el de la producción. El grueso de la explicación, en consecuencia, debe buscarse en otra parte, esencialmente, en dos causas sustantivas:

I) Nuevas maneras de organizar la producción.

II) Incorporación masiva de nueva tecnología, realizada principalmente de tres formas:

- a) Insumos (entre otros, semillas modificadas genéticamente, fertilizantes y plaguicidas).
- b) Bienes de capital (por ejemplo, maquinaria, para trabajar la tierra, sembrar, cuidar los cultivos, cosechar, etcétera).
- c) Procesos (como siembra directa, doble cultivo anual, interseembra y otros).

Cambios en la organización: del productor individual a las redes de producción

En tiempos pasados, el factor determinante de las formas de producción agropecuaria en la pampa húmeda argentina era la posesión de la tierra, fuese en propiedad o alquiler. Asegurado el acceso a ese recurso, el propietario o arrendatario realizaba un conjunto de actividades empresariales caracterizadas por:

- a) La tendencia a llevar a cabo por sí mismo las actividades de laboreo (consistentes en arar, rastrear y sembrar) y a confiar la recolección o cosecha a contratistas externos a su empresa. Esto significaba, para los propietarios o arrendatarios rurales, una fuerte inversión en equipos (tractores, arados, rastras de varios tipos, sembradoras, galpones, silos, etcétera), y la tendencia a tenerlos ociosos buena parte del año.
- b) El uso de semillas de propia producción, obtenidas al guardar una fracción de cada cosecha para esa finalidad. La única excepción a esta práctica estaba constituida por las variedades híbridas, que alcanzaron alguna difusión en cultivos como el maíz. En adición, un uso modesto, si alguno, de fertilizantes y herbicidas.
- c) La adquisición en forma gradual y acumulativa de conocimiento empírico, relevante para cada parcela particular y para el tipo de capital acumulado en maquinaria e instalaciones. De esa manera, el productor individual establecía, en cada ciclo agrícola, su propia combinación de insumos. Ello era complementado por la acción educativa de instituciones públicas y privadas de extensión agropecuaria, que daban asesoramiento acerca de la implantación y el manejo de cultivos, así como sobre otras cuestiones de índole similar.
- d) Una orientación a la cantidad más que a la calidad o la diferenciación del producto.
- e) Un predominio del autofinanciamiento, complementado por el crédito bancario público, a menudo subsidiado, para financiar inversiones como construcciones, alambrados o la compra de maquinaria (para lo que también podía haber desgravaciones).

La agricultura estaba en manos de miles de productores de muy diverso tamaño, cuyo negocio se desenvolvía sujeto a ciclos de origen climático y comercial. A menudo tales ciclos desembocaban en la intervención estatal, en algunos casos destinada a sostener una rentabilidad mínima, y en los casos opuestos, a captar mediante impuestos específicos excedentes aleatorios originados en factores externos a la actividad, como devaluaciones, incrementos sustantivos de los precios internacionales, etcétera.

En tales circunstancias se producían tensiones entre la producción agropecuaria y la agroindustrial, entre arren-

datarios y propietarios, entre intermediarios comerciales y productores, y entre estos y los contratistas de labores como la cosecha. En lo sustantivo, se trataba de actores que operaban en oposición entre sí: cada uno procuraba capturar todo lo que podía de la renta generada por una producción poco dinámica. Las oscilaciones y tensiones habituales contribuían, junto con otros factores, al escaso dinamismo técnico y productivo del sector.

¿Cómo se organiza actualmente la producción agraria? Hoy, en el mundo agrario argentino tanto las actividades productivas como la innovación exhiben una creciente tendencia a adoptar una lógica de redes. Una red o trama productiva es un espacio económico de creación de competencias e intercambio de bienes o servicios que incluye una o varias empresas núcleo, sus proveedores y sus clientes. Sus relaciones, materializadas a través de contratos —formales o informales—, contienen no solo especificaciones acerca de las condiciones financieras y los precios de corto plazo, sino que incluyen intercambios tangibles e intangibles de información, experiencias productivas, conocimientos (codificados y tácitos) y estrategias concurrentes de desarrollo a futuro. Este conjunto de vínculos [...] crea lenguajes y códigos comunes, facilita los procesos de coordinación, mejora la especialización y división de las actividades y, con ello, se convierte en un genuino espacio de generación de ventajas competitivas. En suma, los componentes de la red encuentran (de manera inadvertida la mayoría de las veces) más conveniente la obtención de sus objetivos particulares operando mancomunadamente que haciéndolo de forma individual (Yoguel G, Milesi D y Novick M, Entorno productivo y ventajas competitivas: el caso de una trama siderúrgica, Serie Informes de Investigación N° 15, Universidad Nacional de General Sarmiento, Buenos Aires)

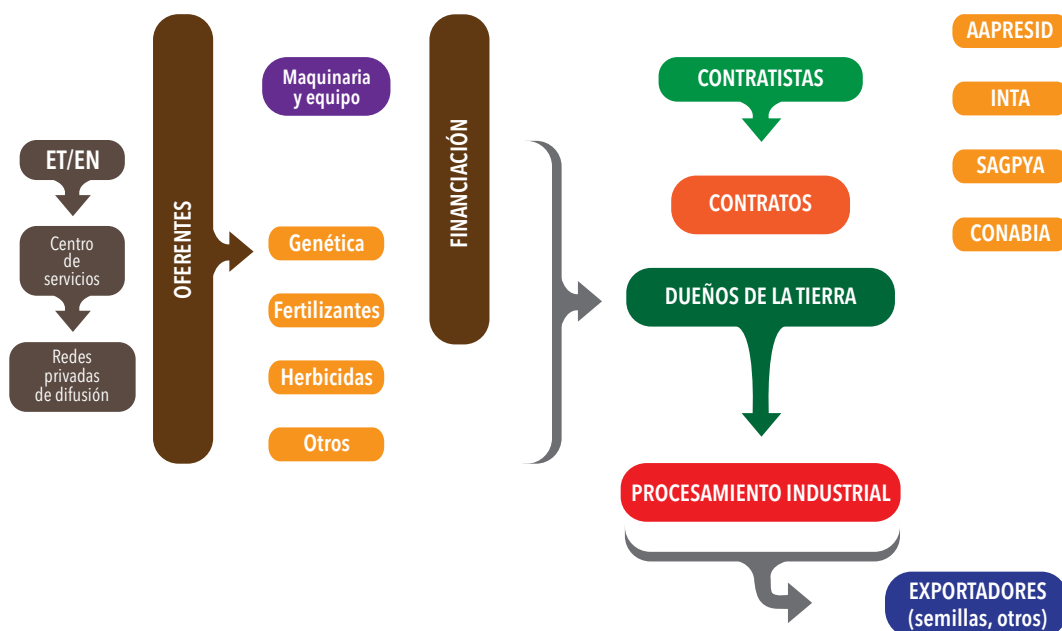
En una red, los objetivos individuales de los varios agentes económicos (empresas, individuos, institucio-

nes de ciencia y tecnología, profesionales, organizaciones gremiales, etcétera) confluyen en objetivos comunes. La tendencia a operar con esta lógica conduce, necesariamente, al replanteo de la acción de cada uno de esos agentes económicos, su especialización productiva, los sistemas de relaciones entre ellos y, en definitiva, la dinámica del funcionamiento conjunto. Se configura así un sistema complejo según lo ilustra el gráfico siguiente:

De manera creciente, este esquema fue desplazando al modelo previo, con las siguientes características:

- Una diferenciación en aumento entre propietarios de la tierra y empresas que desarrollan la producción, con un protagonismo cada vez más decisivo de los segundos. Estos, sea como contratistas de aquellos o como empresarios agrícolas, se fueron convirtiendo en los actores más dinámicos, con capacidad de asumir diversos grados de riesgo. Los datos censales de 2002 revelaron que dos terceras partes de la siembra fueron realizadas por empresarios sin tierra propia. Tales empresarios, que operan en una escala antes infrecuente, toman en muchos casos las decisiones técnicas y actúan en otros como proveedores de servicios que son parte sustancial de la producción. Por esta razón, comienza a resultar dudoso mantener la actividad en su tradicional ubicación en el sector primario.
- Una tendencia a que los mencionados contratistas se domicilien en lugares distintos de aquellos donde operan, en pueblos o ciudades pequeñas o medianas en lugar de hacerlo en el campo. En términos sociológicos, en el campo hay cada vez menos campesinos en el sentido tradicional del término, pero como la actividad demanda muchos servicios y crece muy rápida-

La red como organización de la producción primaria



mente, hay cada vez más gente vinculada laboralmente con el campo.

c) Una mayor complejidad del proceso de producción, consecuencia del esfuerzo por mejorar los rendimientos, bajar costos y asegurar calidad. Mucha de esa complejidad llega al mundo agropecuario del sistema industrial, pues este actúa como proveedor de insumos (fertilizantes, semillas, herbicidas, fungicidas, etcétera) y transfiere a aquel, al mismo tiempo, los conocimientos para usarlos. Así, la industria, en esa función de proveedora de tecnología, se convierte en parte relevante de la producción rural. Algo similar ocurre con los proveedores de servicios o contratistas. De esta forma el tradicional sector primario adquirió un fuerte aditamento de la industria y los servicios, es decir, de los sectores que los economistas acostumbra a denominar secundario y terciario respectivamente.

d) La empresa que desarrolla la actividad, que adquirió un peso mayor que el propietario de la tierra en las decisiones técnicas sobre qué cultivar y cómo hacerlo, no solo interactúa con los proveedores de insumos industriales y de las tecnologías que traen asociadas; también lo hace con las diversas organizaciones, públicas y privadas, de ciencia y tecnología agropecuarias. Como asume los riesgos de producción, necesariamente se vuelve un demandante de innovaciones que le permitan disminuir costos, reducir pérdidas y elevar la rentabilidad. Actúa, en consecuencia, como un instrumento de difusión de nuevas tecnologías.

En este contexto, una parte sustantiva del éxito económico de cada uno de los actores depende de la buena marcha del conjunto de la actividad. En la medida en que las relaciones entre esos actores se establecen sobre la base de contratos, se instituyen sistemas de distribución de riesgos que resultan menos traumáticos en los momentos de deterioro, y menos explosivos en los de bonanza.

Cambios en la tecnología: del conocimiento del agricultor a la red de innovación

En términos tecnológicos, a mediados de la década de 1950 la producción primaria operaba en la Argentina con un claro retraso, medida con parámetros internacionales. Tal estado de cosas obedecía a diversas causas: la forma como estaba organizada la producción, la subdivisión de la tierra (y las eventuales conductas rentistas asociadas a ella), las injerencias estatales en los niveles de rentabilidad, etcétera. A partir de esos años, de manera gradual, y tardía en relación con países de similares características, la

producción agropecuaria local adoptó –y adaptó– la denominada *revolución verde*, que tuvo lugar en la última posguerra e incluyó la mecanización, el uso de fertilizantes y el cultivo de variedades híbridas. El panorama comenzó a cambiar tímidamente en la década de 1970 y los cambios cobraron cierta relevancia en la de 1980. La difusión del cultivo de la soja, el doble cultivo anual (trigo seguido de soja) y el comienzo de las prácticas de labranza mínima (en lugar de la labranza convencional con un arado), que desembocó en la siembra directa, constituyeron los primeros pasos de una importante transformación, que preparó a la agricultura para la adopción de tecnologías que estarían disponibles en la siguiente década.

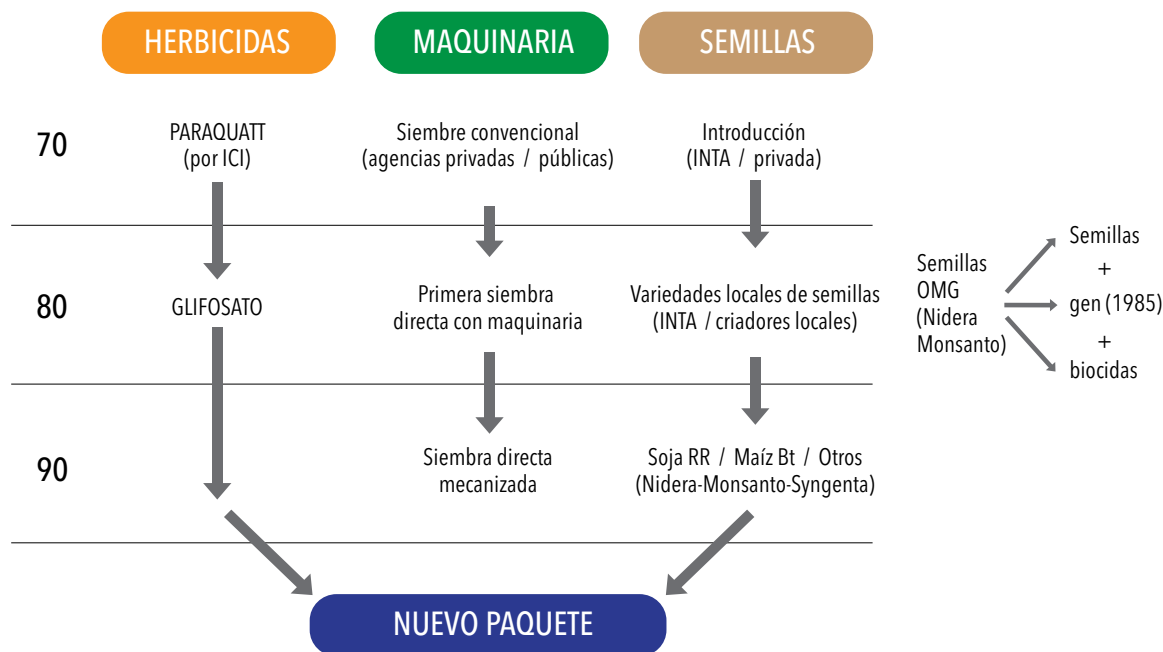
Poco antes de 1990 tuvieron lugar los primeros intentos locales de crear variedades genéticamente modificadas de soja, mediante la introducción de genes importados en cultivares de soja local. Firmas multinacionales trabajaron en idéntica dirección con el maíz. Esos intentos se apoyaron en la rica experiencia del medio agropecuario argentino en materia de mejoramiento de cultivos por métodos tradicionales, para adaptarlos a las condiciones de clima y suelo locales. Por otro lado, ciertos rasgos de las variedades genéticamente modificadas así obtenidas (por ejemplo, la resistencia al herbicida glifosato, que se logró conferir a la soja) resultaron ideales para extender el uso de la siembra directa.

La soja y el maíz genéticamente modificados, junto con la siembra directa y con determinados fertilizantes y otros biocidas, fueron conformando un paquete tecnológico que condujo a una fuerte reducción de costos. Todo parece enmarcarse en un largo proceso evolutivo que eclosiona a mediados de los años 90, pero que reconoce antecedentes a lo largo de más de dos décadas de desarrollo. El cuadro que sigue sintetiza la evolución:

Las nuevas tecnologías se difundieron de manera acelerada y, en algunas de sus formas, casi sin retraso con respecto a su lanzamiento en países avanzados. Mientras que en Estados Unidos la soja genéticamente modificada se liberó al uso comercial en 1995, en la Argentina ello aconteció un año después. Algo similar ocurrió con el maíz Bt. Como resultado, las formas habituales de producir fueron reemplazadas por otras: el antiguo modelo agrícola, que se había consolidado a lo largo de décadas, resultó desplazado por uno nuevo, de formidable potencia. Al mismo tiempo, una demanda muy dinámica de productos agropecuarios, tanto local como externa, convalidó el uso de las novedosas tecnologías.

A lo largo de este proceso se fue reconfigurando el esquema de innovación que subyace al modelo productivo del sector agropecuario. En la modalidad tradicional, el epicentro de las decisiones tecnológicas y, por ende, de la innovación era el productor; en el modelo emergente, en cambio, una multiplicidad de actores interviene en las decisiones de innovación. Esos actores tienen abundantes relaciones entre ellos y configuran

Evolución tecnológica



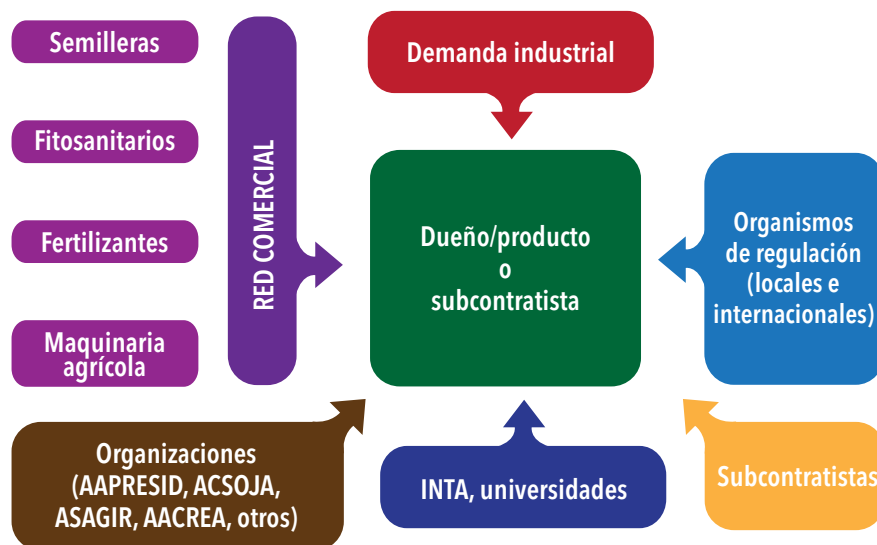
una organización reticular, tanto en materia de generación de tecnología como de su difusión. La ciencia y la tecnología forman parte creciente de, por ejemplo, los procesos de desarrollo de semillas, así como de los procedimientos productivos. De esta manera, aumenta la complejidad y se torna relevante la cooperación entre los nuevos agentes económicos. El nuevo panorama se puede sintetizar como sigue:

En este modelo, una porción sustantiva y creciente de las innovaciones proviene de fuera del medio tradicionalmente considerado agropecuario: se origina en el sector económico proveedor de servicios o en las industrias que fabrican los insumos corrientes o de capital. Pero otra porción, complementaria de la anterior, se origina y desarrolla en el ámbito de los propios operadores o empresarios agrarios, sean o no propietarios de tierra.

Los proveedores de semillas genéticamente modificadas han adquirido un peso relevante en la generación y el desarrollo de tecnología agropecuaria. Se trata de empresas que provienen de la industria farmacéutica, que forjaron alianzas con los semilleros tradicionales y con los es-

pecialistas en la creación tradicional de variedades (llamados en la jerga *fitomejoradores*). Los productos que ofrecen suelen estar asociados con otros que les son complementarios. Un caso paradigmático es la soja genéticamente modificada para darle resistencia al herbicida glifosato, ofrecida junto con este para aprovechar con ambos las ventajas de la siembra directa. De allí que semilleros y oferentes de biocidas y fertilizantes provengan de idénticas compañías y lleguen a los usuarios (propietarios y contratistas) de la mano de canales comerciales que ofrecen, además, asistencia técnica e, incluso, financiación.

La red como forma de organización del modelo de innovación





Campamento de contratistas en la pampa húmeda.

Complementariamente, los fabricantes de maquinaria agrícola fueron mejorando paulatinamente los equipos en uso, sobre todo por la incorporación de electrónica a sistemas que antes eran de tipo mecánico e hidráulico, y también desarrollaron nuevos equipos, como los empleados para la siembra directa y el embolsado de los silos bolsa con un significativo porcentaje de ingeniería local.

Al mismo tiempo, las instituciones de ciencia y tecnología, en su mayoría estatales, desde el INTA a diversos centros o institutos de investigación, en universidades y fuera de ellas, operan como generadores de conocimiento científico y tecnológico. Este proporciona el basamento conceptual de los desarrollos e innovaciones a cargo de los actores indicados hasta aquí. Del mismo modo, el sistema educativo formal, en especial las universidades, va adaptando sus programas para ponerse en línea con los cambios.



Revisando el estado de las plantas en un campo de maíz.


A partir de esta estructura, la difusión de las innovaciones, cuyo motor más poderoso es su rentabilidad, se está produciendo por caminos que exceden la estructura tradicional de instituciones públicas de extensión agrícola. Entre los nuevos actores se destacan dos tipos:

- a) los centros de servicios de los proveedores de insumos, que no solo venden productos sino que, a menudo, se convierten en lugares de asesoramiento al productor y/o a sus contratistas; y
- b) una constelación de instituciones privadas sin fines de lucro (algunas no tan nuevas, sin embargo, pero que cobraron renovada importancia) dedicadas a fomentar la innovación, entre las que se puede mencionar la Asociación Argentina de Consorcios Regionales de Experimentación Agrícola (AACREA), que data de 1960; la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID), fundada en 1989; la Asociación Argentina de Girasol (ASAGIR), nacida en 1980; la Asociación de la Cadena de la Soja (ACSOJA), constituida en 2004, y la Asociación Maíz Argentino (MAIZAR), también formada en 2004.

A partir de estos canales de difusión, productores y contratistas de laboreo y cosecha (más allá de sus especificidades, tamaños y capacidades económicas y tecnológicas) identifican sin mucha demora las innovaciones como una herramienta que mejora su rentabilidad. El hecho de que muchos de ellos ejerzan su actividad de modo itinerante (siembran terrenos de terceros en dis-

tintos puntos del país) los convierte en vectores de difusión territorial de tecnologías, tanto las asociadas con insumos diversos como las que subyacen a los conocimientos operativos de empleo cotidiano.

Sujetos a la influencia de este conjunto de inductores del comportamiento tecnológico, los empresarios rurales, sean o no propietarios de la tierra, necesitan renovar sus conocimientos operativos, no solo para ingresar en el nuevo modelo tecnológico sino, también, para adaptarlo a las condiciones particulares de cada región, entre ellas, su clima y sus suelos. Buena parte de la capacidad productiva actual, lo mismo que la futura, reposa en los conocimientos tácitos así generados, que a su vez se apoyan en conocimientos científicos y tecnológicos y en las prácticas operativas.

En síntesis, las formas de organizar la actividad agropecuaria se han ido modificando paulatinamente, al punto de que tanto la empresa rural como el sector en su conjunto difieren crecientemente de lo que eran hace pocas décadas. Se han conformado redes de producción e innovación basadas en relaciones que van más allá de los intercambios comerciales rígidos exclusivamente por los precios. Estas fomentan el desarrollo de capacidades técnicas y operativas que dependen no solo de la productividad individual sino, también, de los vínculos de intercambio entre los diversos actores que conforman la actividad. El campo argentino ya no es lo que era antes; ganó en productividad, complejidad y potencialidad, hecho que lleva a replantear su lugar en la sociedad argentina. 

LECTURAS SUGERIDAS

AA. VV., 2005, 'La transformación de la agricultura argentina', CIENCIA Hoy, 15, 87, número enteramente dedicado al tema, junio-julio.

BISANG R., 2007, 'El desarrollo agropecuario en las últimas décadas: ¿volver a creer?', en Kosacoff B (ed.), Crisis, recuperación

y nuevos dilemas. La economía argentina 2002-2007, CEPAL, Buenos Aires.

BISANG R, GUTMAN G, LAVARELLO P, SZTULWARK S y DÍAZ A, 2006, Biotecnología y desarrollo, UNGS-Prometeo, Buenos Aires.



Agricultura familiar

El escenario global futuro plantea una situación alimentaria compleja y desafiante. La producción agrícola es una de las actividades más relevantes de casi todas las economías, entre ellas la nuestra. El sector argentino productor de alimentos comprende una enorme diversidad de actores que incluye la denominada 'agricultura familiar', un grupo a su vez vasto y heterogéneo. El agricultor familiar plantea una serie de circunstancias que demandan un tratamiento

particular desde el punto de vista político, económico y tecnológico. Opera con una lógica que difiere de la del agricultor empresarial: la familia y la unidad económica son un mismo proyecto y la escala espacial de producción es reducida. Estas circunstancias representan un desafío para el desarrollo de tecnologías de manejo de los recursos naturales, de comercialización de la producción y para la resolución de los conflictos de tenencia de la tierra, muy frecuentes en este tipo de agricultor.



Marcela Román

Facultad de Agronomía, UBA

Agricultura familiar: concepto, polémicas y algunas cifras para la Argentina

El concepto de agricultura familiar se vincula con la producción de alimentos. Aunque la distinción no es taxativa, se asocia a la producción capitalista con la producción de *commodities* de mayor rentabilidad y a la agricultura familiar con la producción de alimentos básicos, de mayor diversidad. Si bien esta afirmación reconoce importantes diferencias, particularmente ciertas para el caso argentino, la FAO destaca a la agricultura familiar como proveedora de alimentos y con un papel importante en las estrategias de seguridad (y soberanía) alimentaria.

La conceptualización de la agricultura familiar reconoce aspectos culturales, sociales, políticos y agronómicos, y este artículo procurará caracterizar brevemente a los últimos. Es entonces importante rescatar que, aunque se trata de unidades de pequeña escala y algunas familias pueden ser sujetos de políticas sociales, producen bienes agropecuarios y, como tales, son productoras. Así, generan necesidades de investigación agronómica, desarrollo de tecnología y extensión, constituyendo un verdadero desafío para el sistema científico que aún está lejos de ser resuelto.

La generación de tecnología suele tener más incentivos cuando no existen limitaciones de escala ni de capital. Las tecnologías agronómicas de costo cero o intangibles, porque no están corporizadas en un bien comercializable, poseen menos incentivos económicos para quienes las generan, pero tendrán mayor importancia para la agricultura familiar. Su desarrollo requiere, en

primer lugar, conocer al sujeto social al que se destinan. En ese sentido, caracterizar la agricultura familiar es el primer paso.

Un concepto, muchas interpretaciones

Aunque las ciencias sociales siempre han tomado en cuenta la heterogeneidad social como problema teórico relevante, para la agronomía su consideración es relativamente reciente. La investigación y la extensión solían organizarse según rubros productivos (maíz, ganadería, etcétera) y solo hace pocos años los estudios se enfocaron en los sistemas de producción. Estudios sobre 'el sector agropecuario' como un todo comenzaron a perder vigencia en la medida en que el reconocimiento de esa heterogeneidad y el nivel de detalle aumentaron, pasando de la identificación de unidades productivas heterogéneas hasta la diferenciación de los sujetos sociales que las conducen: capitalistas o campesinos, jóvenes o adultos, varones o mujeres. Así se acentuaron los enfoques de clase, género y etarios para interpretar las estrategias de producción que las unidades productivas desarrollan. Cualquier planteo social, agronómico o ambiental que pretenda cierto nivel de transformación de la realidad debería tener en cuenta esta heterogeneidad.

El concepto de agricultura familiar permite caracterizar la heterogeneidad social agraria. Aunque existía larga

experiencia en estudios sobre pequeños productores, el término se instaló en la Argentina durante 2003 a raíz de la solicitud de organizaciones de productores familiares del Mercosur para que la cumbre de presidentes propusiera políticas diferenciadas. Sin embargo, como todo concepto, su construcción no está exenta de discusiones. Tanto desde la vertiente agronómica como desde la socioeconómica y política existen diferencias en torno a qué tipo de productores se incluyen.

Aunque el eje del concepto está puesto en la participación de la mano de obra familiar, suelen incluirse tanto unidades basadas pura y exclusivamente en el trabajo de los miembros de la familia como aquellas en las que el trabajo familiar resulta predominante, pero no exclusivo. También puede incluir a productores con cierto nivel de capitalización como a aquellos más cercanos a estrategias de subsistencia y venta de excedentes, de perfil campesino. De todas formas, lo relevante es que al estar imbricadas las relaciones familiares y los procesos productivos, el funcionamiento de los sistemas tiene características singulares. Por ejemplo, las decisiones agronómicas están permeadas por las decisiones domésticas porque la unidad productiva y la doméstica se yuxtaponen. En consecuencia, las etapas del ciclo de vida familiar afectarán la organización de los sistemas productivos que dependen de la mano de obra familiar, ya que la superficie o la cantidad de animales que pueden manejarse estarán limitadas por la fuerza de trabajo disponible en cada momento particular.

Otras discusiones se dan en torno al objetivo que orienta el proceso productivo o 'racionalidad económica'. Mientras que la economía ortodoxa plantea que para todo agente económico ese objetivo es la maximización de ganancias, para la economía familiar de tipo campesino muchos autores sugieren que existiría otra racionalidad que no es la típicamente capitalista. Esta línea de pensamiento plantea que la unidad campesina busca la satisfacción de las necesidades familiares, la subsistencia y no la ganancia, el balance entre el consumo familiar y la explotación de la fuerza de trabajo. Si bien el productor familiar resume en una sola figura al propietario del capital, la tierra y el trabajo, no siempre recibiría como compensación la suma de la ganancia, la renta y el salario respectivamente. Por diversos motivos, la renta y la ganancia podrían transferirse a la sociedad y el ingreso percibido asimilarse a la compensación por el trabajo. Una empresa capitalista habría desaparecido como tal en esas condiciones, puesto que no maximiza ganancias. La unidad familiar campesina, en cambio, seguiría funcionando.

Más allá de las diferentes posiciones académicas, es importante destacar que existe una conceptualización oficial de la agricultura familiar que tiene implicancias políticas porque establece concretamente los límites para la inclusión de los productores que podrían beneficiarse de políticas diferenciadas. En la Argentina, la Subsecretaría



de Agricultura Familiar estableció, en consonancia con la propuesta de la Federación de Organizaciones Nucleadas en la Agricultura Familiar, un límite superior de hasta dos trabajadores permanentes contratados en la unidad productiva. Esta categorización generó ciertas controversias porque podría incluir casos que no requerirían esfuerzos especiales por parte del Estado. De todas formas, lo relevante de esta definición, con relación al tipo de productor que se incluye, es que se basa en la predominancia del trabajo familiar y no en su exclusividad.

Existen, además, diferentes interpretaciones sobre la evolución de la agricultura familiar. Algunos análisis sostienen que tiende históricamente a desaparecer, si bien otros plantean que se mantendrá. En el primer caso se alude a los procesos de concentración del capital, la tierra y la producción que terminarán absorbiendo las diferentes formas de agricultura familiar. Mientras que campesinos y pequeños productores familiares pasarían a ser asalariados rurales o urbanos, algunas unidades podrían capitalizarse y aumentar de escala, y así perder su rasgo familiar. Los procesos de globalización, modernización y urbanización abonan esta idea. En el segundo caso se

propone que la agricultura familiar resiste los embates de los procesos de concentración y globalización gracias a su modo de funcionamiento flexible derivado de su racionalidad económica. Esto le permitiría sostenerse aun sin ganancias pero diversificando las estrategias de obtención de ingresos mediante empleos transitorios, planes sociales, remesas de dinero de miembros migrantes, elaboración y venta de artesanías, etcétera.

Estas discusiones tienen consecuencias en los efectos ambientales esperados y también en decisiones políticas. Por eso, y porque los datos pueden abonar tanto una como otra posición según diferencias regionales, sistemas productivos y perfil de productores considerado, esas discusiones no siempre están saldadas. El viejo debate entre ‘campesinistas’ y ‘descampesinistas’ está enriquecido por el análisis de las estrategias desarrolladas por la agricultura familiar frente a los cambios de contexto nacional e internacional, su reacomodamiento a las condiciones de cada momento histórico particular, y las diferencias locales y territoriales que pueden fortalecer tanto su permanencia como su descomposición.

¿Cuántas son y qué producen las unidades de la agricultura familiar?

Responder a esta pregunta nos remite a otro problema teórico. Seleccionar las variables que permiten cuantificar la agricultura familiar con los datos disponibles no

resulta sencillo. Además, algunas definiciones incluyen aspectos culturales difícilmente cuantificables. La Subsecretaría de Agricultura Familiar inició un registro que aún se está ejecutando. Sin embargo, al no seguir un tratamiento estadístico, los datos no son comparables entre sí porque no están registrados en un mismo año base, sino en diferentes años desde que se inicia el proceso. En consecuencia, los datos de los censos agropecuarios son, hasta el momento, la mejor herramienta para determinar el peso total de la agricultura familiar en nuestro país. El estudio más exhaustivo existente utiliza datos del Censo Nacional Agropecuario de 2002 (último disponible hasta la fecha) e identifica que, del total de unidades productivas, el 66% (218.868) son explotaciones de pequeños productores familiares y ocupan el 13% de la superficie agropecuaria del país (23.196.642ha). Para llegar a estos datos se toma en cuenta explotaciones en las que: (a) el productor o socio trabaja directamente en la explotación, aportando su fuerza de trabajo; (b) en la explotación no se emplean trabajadores no familiares remunerados permanentes, y (c) la unidad no posee las formas jurídicas de sociedad anónima o sociedad en comandita por acciones.

Si se considera la definición oficial de la agricultura familiar, se suma a la estimación previa 34.248 establecimientos más y 7.401.435ha correspondientes a aquellas unidades que cumplen con las condiciones (a) y (c) anteriores, pero contratan hasta dos empleados permanentes. Al incluir a estas unidades se eleva el peso de la agricultura familiar al 75% de los establecimientos y el 18%



de la superficie agropecuaria. A su vez, se diferencian tres estratos dentro de los pequeños productores familiares: el tipo 1 es el más capitalizado y el tipo 3 el más cercano a productores de perfil campesino. El tipo 2 corresponde a situaciones intermedias (figura 1).

La agricultura familiar resulta importante por su peso numérico pero no respecto de la superficie agropecuaria. Sin embargo, la importancia relativa es diferente para diferentes provincias (figura 2). Es particularmente alta en el noroeste y en el noreste. Considerando la definición oficial, las provincias que poseen una proporción de unidades productivas familiares superior al promedio nacional (75%) son Catamarca, Corrientes, Chaco, Entre Ríos, Formosa, Jujuy, La Rioja, Misiones, Salta, Santiago del Estero y Tucumán.

A su vez, también existen importantes diferencias entre departamentos en numerosas provincias (figura 3). En determinadas regiones del país se detectan departamentos (o partidos) en los que la proporción de unidades productivas de la pequeña agricultura familiar es superior al promedio nacional (66%).

La distribución según tipos también brinda información sobre las diferencias en la estructura de la agricultura familiar. Si comparamos, por ejemplo, Buenos Aires con Jujuy (provincia con el mayor peso de la agricultura familiar), podemos comprender que en Buenos Aires predomina un tipo capitalizado mientras que Jujuy representa el caso contrario (figura 4).

La participación en la producción agropecuaria según grandes grupos de actividades muestra que la contribución a la superficie con producción comercial de semillas (especies vegetales destinadas a la obtención de semillas comerciales para su propagación) es muy pequeña (figura 5). En cambio, representa el 70% de la superficie de cultivos industriales de segunda ocupación (cultivos que requieren algún procesamiento industrial, como yerba mate, algodón, etcétera, y que ocupan el suelo en la segunda mitad del año agrícola). En las producciones animales, la participación es alta en la ganadería menor, pero baja en la ganadería bovina para carne (figura 6).

El valor bruto de la producción, la suma del valor monetario de todos los bienes producidos, permite conocer el aporte de cada tipo de productor a la producción total. Este valor no refleja el ingreso obtenido por las ventas ya que algunos productos, como el forraje para alimento animal, son bienes que si bien se producen y tienen valor, se consumen dentro del establecimiento. Las mayores diferencias en el valor generado se observan

Figura 2. Contribución relativa de las explotaciones familiares en el total de explotaciones (columna verde) y en la superficie agropecuaria (columna violeta). La porción superior de ambas barras indica el aporte de las unidades con dos empleados. En todos los casos se emplea la misma escala para facilitar la comparación entre provincias. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchatko, 2009.

Contribución relativa al total (%)

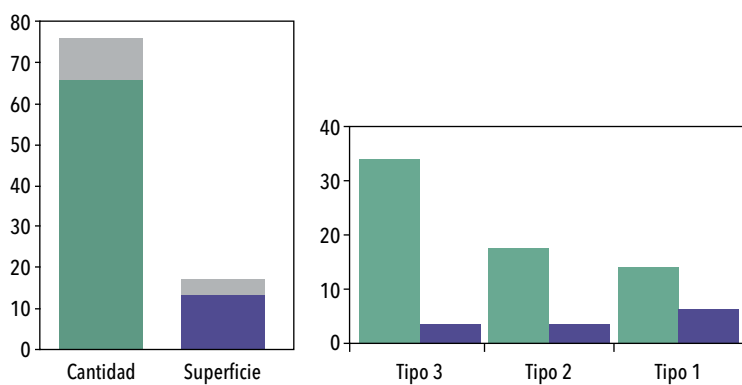
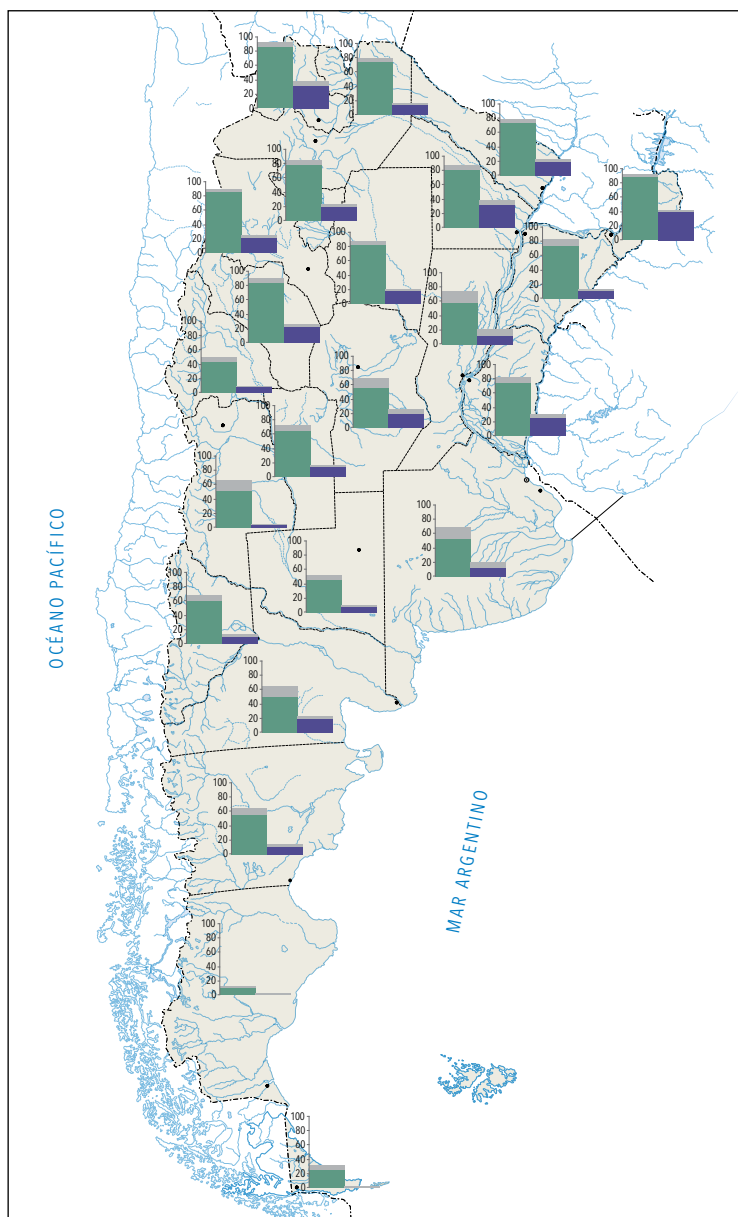


Figura 1. Contribución relativa de los establecimientos familiares de la Argentina al total (en cantidad de establecimientos y en la superficie ocupada). En el panel de la izquierda, las porciones superiores de ambas barras muestran el aporte de los establecimientos con hasta dos empleados permanentes y la inferior, a los pequeños productores familiares. La suma de ambas categorías conforma la definición oficial. El panel de la derecha muestra la distribución según tipos de productor. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchatko, 2009.



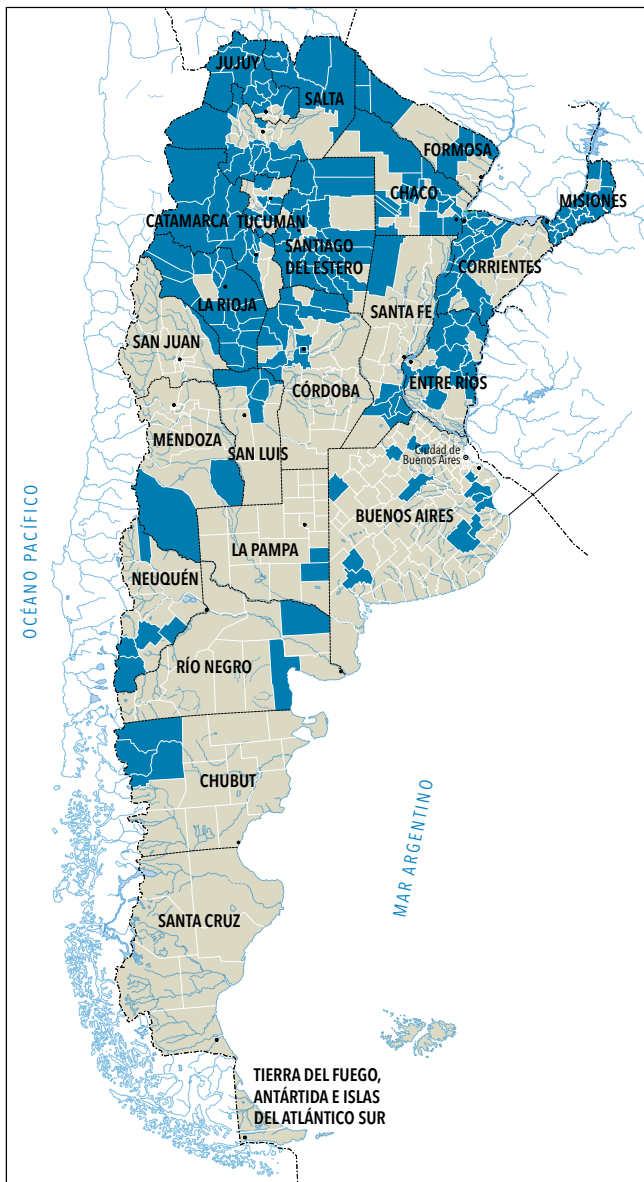


Figura 3. Departamentos provinciales con una contribución relativa de explotaciones de pequeños productores familiares superior a la media nacional (66%). Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007.

en los promedios por tipo de establecimiento, ya que las unidades no familiares son menos y más grandes, en cambio en los registros por unidad de superficie los datos adquieren otra dimensión, rescatando la importancia productiva de la agricultura familiar (figura 7).

Problemática

Estudios de caso para áreas seleccionadas muestran que en la región pampeana, además de la venta o el achicamiento de las unidades familiares, como consecuencia del endeudamiento de los 90 se produjo una disminución de la cantidad de establecimientos por el retiro de la producción directa familiar, pasando muchos pro-

Contribución relativa (%)

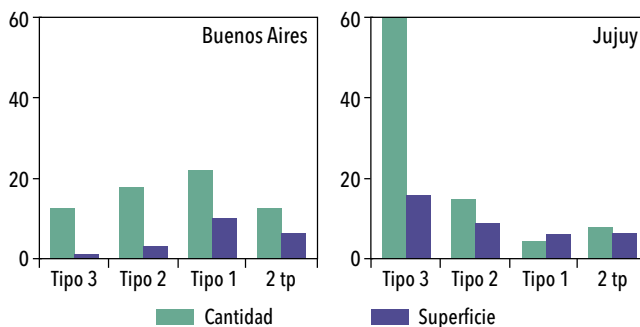


Figura 4. Contribución relativa de cada tipo de establecimiento familiar de la Argentina al total (en cantidad de establecimientos y en superficie) según tipos en dos provincias. 2 tp = unidades con hasta 2 empleados permanentes. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchatko, 2009.

Superficie relativa (%)

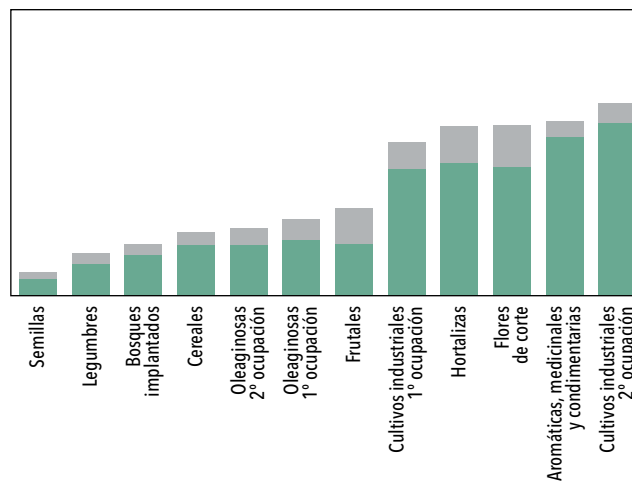


Figura 5. Contribución relativa de la agricultura familiar en la superficie sembrada según grandes grupos de cultivos. La porción superior de cada barra representa el aporte de las unidades con hasta dos trabajadores permanentes. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchako, 2009.

ductores familiares a convertirse en pequeños rentistas. En cambio, en provincias no pampeanas se observa un mantenimiento de la agricultura familiar, aunque acosada por problemas de comercialización, ambientales y jurídicos sobre la tierra.

No resulta fácil resumir la problemática de la agricultura familiar en la Argentina, pero en orden de importancia los diversos problemas asociados a la tenencia de la tierra en áreas extrapampeanas son los que ocupan el primer lugar, porque la tierra sustenta la condición de productores de las familias. Un relevamiento de conflictos de tierra en los que participa la agricultura familiar dio cuenta de cerca de mil situaciones conflictivas en todo el país, sumando una superficie total de más de 9 millones de hectáreas y afectando a más de sesenta mil familias. Casi la mitad corresponde a casos ocurridos

Existencias animales relativas (%)

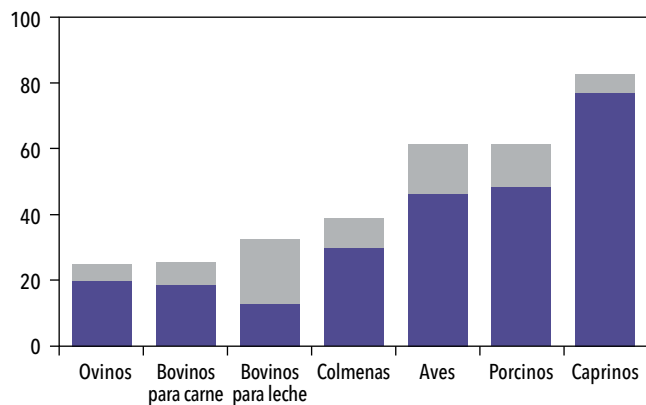


Figura 6. Contribución relativa de la agricultura familiar a las existencias animales. La porción superior de cada barra representa el aporte de las unidades con hasta dos trabajadores permanentes. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchatko, 2009.

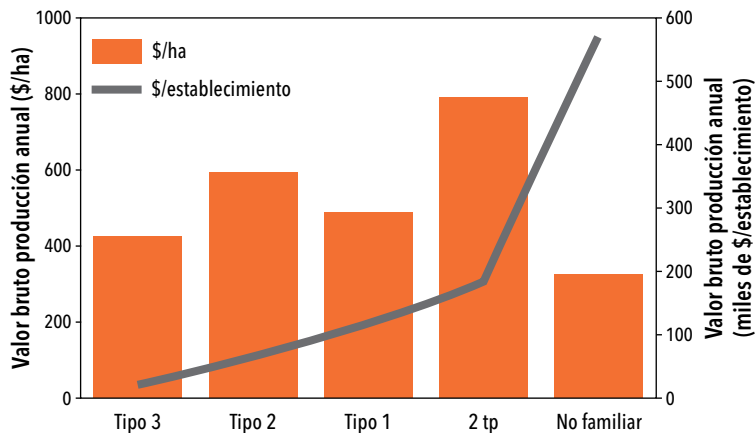


Figura 7. Valor bruto de la producción anual por establecimiento agropecuario y por unidad de superficie (ha) generado por los distintos tipos de agricultura familiar y por establecimientos no familiares. Valores en pesos de 2004. Elaborado con datos de Obstchatko *et al.*, 2007, y Obstchatko, 2009.

durante la última década, en coincidencia con el avance de la frontera agropecuaria. Aunque la legislación argentina establece la prescripción adquisitiva de dominio (usucapión o prescripción veinteañal) que protege los derechos de los poseedores que ocuparon la tierra por veinte años o más, no siempre resulta fácil (ni barato) demostrar tal condición frente a nuevos inversores.

Otro problema relevante es la comercialización de los productos. El recorrido que media entre la producción diversificada y la mesa del consumidor es largo y no siempre se logra cubrir el costo que ese recorrido signi-

fica. Una alternativa han sido las ferias francas, pero su generalización requiere todavía de apoyo y promoción para que constituyan una alternativa viable.

Sin ánimo de terminar, es importante señalar la necesidad de desarrollar tecnología apropiada, basada en estudios básicos y aplicados, que involucren desde el manejo de los recursos hasta las estrategias de comercialización. Sin duda, la ciencia tiene un papel fundamental para que la agricultura familiar cumpla con el rol en la producción de alimentos, que la FAO quiere mostrar al mundo en este año particular. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

BORRAS SM Jr, 2009, 'Agrarian change and peasant studies: Changes, continuities and challenges, an introduction', *The Journal of Peasant Studies*, 36 (1), Special Issue: *Critical perspectives in agrarian change and peasant studies* (5: 31).

CÁCERES D, 1995, 'Pequeños productores e innovación tecnológica: un abordaje metodológico', *AgroSur*, 23: 127-139.

GIGENA A, BIDASECA K (dirs.), **GÓMEZ F, WEINSTOCK AM, OYHARZÁBALE y OTAL D**, 2013, *Relevamiento y sistematización de problemas de tierra de los agricultores familiares en la Argentina*, MAGYP, Buenos Aires.

MCMICHAEL P, 2006, 'Peasant Prospects in the Neoliberal Age', *New Political Economy*, 1: 407-418.

OBSCCHATKO E, 2009, *Las explotaciones agropecuarias familiares en la República Argentina. Un análisis a partir de los datos del Censo Nacional Agropecuario 2002*, MAGYP-IICA, Buenos Aires.

OBSCCHATKO E, FOTI MDP y ROMÁN ME, 2007, *Los pequeños productores en la República Argentina. Importancia en la producción agropecuaria y en el empleo en base al Censo Nacional Agropecuario 2002*, PROINDER, Serie Estudios e Investigaciones.

VAN DER PLOEG JD, 2013, 'Peasant-driven agricultural growth and food sovereignty. Conference paper for discussion at: Food Sovereignty: A Critical Dialogue', International Conference, 14-15 de septiembre.

Pedro Tsakoumagkos

Facultad de Filosofía y Letras, UBA

Susana Soverna

Secretaría de Agricultura Familiar, MAGYP

Políticas públicas para la agricultura familiar

Este artículo expone sucintamente las principales políticas públicas y algunos programas de desarrollo rural, aplicados o en aplicación en la Argentina, dirigidos específicamente a la agricultura familiar. No obstante, este cometido requiere, previamente, alguna precisión respecto del uso del término y del concepto mismo de agricultura familiar en el país. El término fue adoptado en 2006 por el Foro Nacional de la Agricultura Familiar (FONAF), organización público-privada en la que participaban organizaciones de productores y la entonces Secretaría de Agricultura Ganadería y Pesca de la Nación, a instancias de una Reunión Especializada sobre la Agricultura Familiar del Mercosur. Hasta entonces, las políticas para el sector hacían referencia a pequeños productores, hogares agrarios rurales pobres, minifundistas o, según los casos y/o las situaciones, a campesinos, colonos, chacareros, *farmers*, productores familiares.

Como había ocurrido en el resto de los países de la región, particularmente en el Brasil, el Foro optó por una concepción amplia y heterogénea de los agricultores familiares, incluyendo desde unidades con producción solo para el autoconsumo, en la que la reproducción del grupo familiar depende del trabajo extrapredial –situación que en la práctica constituye un tipo de asalariado agropecuario– hasta pequeñas empresas con capacidad de acumular capital y contratar trabajo asalariado (aunque no más de tres trabajadores en forma permanente). Sin embargo, las limitaciones que presentaba esta definición para cuantificar la cantidad de agricultores familiares existentes en el país y sus tipos llevó a la creación del

Registro Nacional de la Agricultura Familiar (RENAF, 2008), sobre el que se volverá más adelante.

Por el momento, la única medición con que cuenta el Estado para orientar sus acciones proviene de un procesamiento del Censo Nacional Agropecuario 2002, realizado por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) a solicitud y bajo la orientación del Estado Nacional. El estudio contabilizó más de 250.000 explotaciones familiares, el 75% de las explotaciones agropecuarias del país, y las clasificó en cuatro estratos (ver 'Agricultura familiar, concepto, polémicas y algunas cifras para la Argentina', en este número). La importancia numérica del grupo no se condice con su disponibilidad de tierra, que no llega al 20% de la superficie agropecuaria, ni con su capacidad productiva, la que un cálculo optimista fija en menos de un tercio del valor bruto de la producción agropecuaria nacional. La inequitativa distribución de recursos no se agota en la distribución de la tierra, sino que se extiende a problemas de infraestructura productiva, de tecnología, de acceso al crédito, de comercialización, de comunicación y de debilidad organizativa. Razones todas que demandan políticas específicas para el sector y llevan a preguntarse si el Estado ha respondido a esas expectativas y de qué forma lo hizo.

Un recorrido histórico

A lo largo de los años, el Estado fue adoptando distintas políticas más o menos activas que, en algunos ca-



sos, facilitaron o, en otros, limitaron el desarrollo de la agricultura familiar. Una política activa que promovió el crecimiento del sector fue la de colonización mediante empresas o mediante las compañías ferroviarias, que favorecieron el asentamiento de la pequeña y mediana producción, y, posteriormente, del propio Estado. Se trata de acciones que abarcan desde la conformación del sector agropecuario a fines del siglo XIX hasta la década de los años 70 del siglo XX.

Si bien esta fue la situación típica de la región pampeana para promover la producción agrícola, en gran parte destinada al mercado externo, también se había implementado en las economías regionales, donde la pequeña producción hubo de expandirse ligada a la producción de bienes para el mercado interno. Mendoza y Río Negro con vid y frutales son buenos ejemplos de cómo obras de infraestructura acercaron a colonos, pero también Chaco, Misiones, Formosa, alrededor de cultivos como el algodón, la yerba mate o el tabaco. Las políticas más activas en este sentido fueron desarrolladas por el Consejo Agrario Nacional (creado en 1940 y anulado en 1980, aunque con diversas etapas más o menos intensivas en la entrega de tierras a lo largo de ese período) y por los institutos de colonización provinciales.

Sin embargo, no todo el asentamiento fue planificado; también el Estado obró por dejar hacer. Estudios del antropólogo Santiago Bilbao para la región chaqueña a

principios de la década de 1970 indican que las migraciones estacionales dejaban siempre un saldo de trabajadores que no regresaban a su lugar de origen. Fue el caso de los hacheros que se trasladaban a obrajes del norte santiagueño y que, al finalizar el trabajo, se instalaban en pueblos del área forestal. Lo mismo sucedió con santiagueños y correntinos que concurrían a la cosecha de algodón. Este autor señala que no se prohibió, y hasta se alentó, la ocupación espontánea de tierras fiscales por parte de trabajadores que se convertían en pequeños productores, sin el apoyo y las condiciones que ofrecían los programas de colonización realizados por el Estado. Estas situaciones no han quedado relegadas al pasado más lejano; en Misiones se ha observado en décadas recientes el asentamiento de familias provenientes de antiguas colonias de la provincia o del sur del Brasil que, para insertarse en el complejo agroindustrial tabacalero, aprovecharon la disponibilidad de tierras fiscales en el noreste de la provincia.

Otras políticas activas fueron desplegadas por el Estado para enfrentar los ciclos de sobreproducción que comenzaron a sucederse desde los años 60 y afectaron principalmente a cultivos industriales, como caña de azúcar, algodón y tabaco, y a otros con una localización más restringida, como yerba mate, vid, olivo, nogal. El Estado de bienestar, que generó leyes de protección al trabajo, salarios mínimos, expansión de los servicios sa-

nitarios y educativos a los trabajadores, también cumplía funciones estabilizadoras o reguladoras para mantener el crecimiento y evitar que producciones menos competitivas o con mercados restringidos, como las de las regiones extrapampeanas, cayesen en recesiones.

En estos casos, el Estado intervino con distinto tipo de medidas, como la fijación de precios mínimos o sostén (algodón), la creación de cupos de producción (caña de azúcar) o la generación de un fondo especial para cubrir parte de los precios pagados al productor (tabaco). Hasta 1976 el Estado intervenía en las producciones regionales con acciones puntuales como resolver la compra de una cosecha o con una acción en toda la cadena productiva estableciendo la superficie que se podía sembrar, las modalidades de comercialización, los precios al productor y de venta al público, como sucedió, por ejemplo, con la caña de azúcar. Eran medidas sectoriales que no discriminaban entre los distintos tipos de destinatarios, porque el sector público agropecuario, al diseñar las políticas, partía del supuesto de la relativa homogeneidad entre los productores.

A partir de la década del 70 las producciones típicamente extrapampeanas comenzaron a compartir el espacio con producciones similares a las de la región pampeana que, en general, venían de la mano de capitales extrarregionales. Simultáneamente, las producciones regionales tradicionales incorporaban cambios técnicos que, por cuestiones de escala y condiciones ecológicas y jurídicas, solo eran accesibles para las medianas y grandes empresas. Los pequeños productores no estaban en condiciones de adoptar esas tecnologías y, en muchos casos, se vieron obligados a salir de la producción. Por otra parte, la introducción de tecnologías ahorradoras de trabajo en producciones pampeanas, pero también en actividades como la caña de azúcar, el algodón y otras materias primas agroindustriales, desarticularon el ciclo ocupacional anual de miles de asalariados agropecuarios que combinaban estas actividades e involucraban a pequeños productores que, en su doble condición de productores-asalariados, vieron afectado su ciclo ocupacional.

En ese momento fue cuando las políticas regulatorias comenzaron a hacerse insuficientes y el Estado 'dejó hacer' nuevamente. Aparecieron en escena, enton-

ces, nuevos actores sociales como las organizaciones no gubernamentales que, con el apoyo de la Iglesia o de organizaciones privadas de cooperación internacional, se dirigieron al estrato más pobre y vulnerable de los agricultores familiares en el norte argentino, desplegando una metodología de trabajo que se replicaría años más tarde en los programas gubernamentales de desarrollo rural.

En 1976 se inicia un proceso que suprimió mecanismos de intervención del Estado en los sistemas productivos y que llegó a su culminación con un decreto de desregulación en octubre de 1991 que, con excepción del Fondo Especial del Tabaco (FET), terminó con todas las políticas reguladoras. Desaparecieron la Junta Nacional de Granos y la Junta Nacional de Carnes, creadas después de la crisis mundial de 1929 para intervenir en la comercialización, particularmente en el mercado exportador; se eliminaron las intervenciones en el complejo agroindustrial cañero; fue abolida la Comisión Reguladora de la Yerba Mate; fue liberada la comercialización de vinos y el Instituto de Vitivinicultura redujo sus funciones a la fiscalización de la genuinidad de los productos. Esto se realizó en el conocido marco de la reforma del Estado de esa época, sintetizado con la expresión 'apertura/desregulación y privatizaciones'.

Estas medidas agudizaron la crisis social y aceleraron las migraciones internas hacia las ciudades que, lejos de ser virtuosas como en la etapa de sustitución de importaciones, se convirtieron en gravosas para el



Estado. Atendiendo a ese proceso, la Secretaría de Agricultura de la Nación diseñó un conjunto de acciones que delinearon durante casi tres décadas y media una política diferenciada (dirigida a pequeños productores agropecuarios y en mucho menor medida a trabajadores y población rural pobre) de desarrollo rural. Sus objetivos explícitos apuntaron a mejorar la calidad de vida y aumentar los ingresos de los pequeños productores tendiendo una malla de contención frente a las políticas de apertura/desregulaciones ya mencionadas, y, complementariamente, a modernizar, reconvertir y diversificar las explotaciones. Algunas acciones adoptaron la forma de programas con estructuras administrativas ad hoc, pero otras se desarrollaron en la propia estructura organizativa de la Secretaría y el INTA.

Hacia fines de los años 90, las principales acciones del INTA, ante la emergencia alimentaria contemporánea producida por los procesos hiperinflacionarios, se orientaron a apoyar al sector de productores minifundistas. También se crearon programas como Prohuerta (1990), destinado a promover la producción de autoconsumo, que aún continúa en asociación con el Minis-

terio de Desarrollo Social. El programa Cambio Rural (1993), en conjunto con la Secretaría de Agricultura, se destinó a productores medios. Las acciones promovidas por el INTA en conjunto sobre estas materias, desde fines de 2003, fueron agrupadas en un programa federal de apoyo al desarrollo rural sustentable.

Dentro de la estructura de la Secretaría de Agricultura de la Nación se ofrecieron (y ofrecen) apoyos a pequeños productores para la formulación y ejecución de proyectos con financiamiento nacional e internacional, para promover el establecimiento de plantaciones forestales y también para la conservación del ambiente. Un programa específico promueve la reconversión de áreas tabacaleras y otros dos apoyan el desarrollo de los productores ovinos y caprinos. Con fondos específicos de organismos de cooperación internacional, se han ejecutado programas de crédito y apoyo técnico para productores del noreste, el noroeste, Cuyo y también de Patagonia. Si bien no se describen aquí, los gobiernos provinciales han implementado programas similares, dirigidos a los mismos sujetos sociales, desde sus jurisdicciones.



Dos programas que merecen atención

En 1993, y como respuesta a la agudización de la crisis del sector agropecuario, se creó, además del programa Cambio Rural mencionado en la sección previa, el Programa Social Agropecuario (PSA), el único con recursos del Tesoro Nacional destinado a pequeños productores. Con su misma estructura, creada especialmente, a partir de 1998 se implementó el Programa de Desarrollo de Pequeños Productores Agropecuarios (Proinder), que contó con financiación del Banco Mundial.

El PSA mantuvo su vigencia durante veinte años y fue cerrado en diciembre de 2013 mientras que el Proinder funcionó entre 1998 y 2011. La decisión de destacarlos responde, en principio, a que fueron instrumentos directamente administrados por el Estado Nacional, tuvieron amplia cobertura geográfica, estuvieron presentes en 21 de las 23 jurisdicciones argentinas con producción agropecuaria y porque, en materia de intervención, ofrecían un amplio paquete de prestaciones que incluían financiamiento directo a familias de pequeños productores (en menor medida se incluían trabajadores agropecuarios). Esto no puede decirse del resto de las políticas o de los programas implementados. Sin embargo, más allá de estas razones que hacen a sus alcances y características, el énfasis en estos programas se fundamenta, sobre todo, en que son la base a partir de la cual se institucionaliza el desarrollo rural en el país.

Estos programas se caracterizaron por: (i) identificar la población objetivo mediante indicadores de pobreza (focalización); (ii) atender demandas o iniciativas que surgieran de la propia población, canalizándola en proyectos que podían ir desde la producción de autoconsumo de alimentos hasta el desarrollo de pequeñas obras de infraestructura para la producción; (iii) ofrecer financiamiento mediante subsidios para el desarrollo de esos proyectos, o crédito no bancario con tasas subsidiadas, junto con asistencia técnica y capacitación; (iv) promover la organización de pequeños grupos para acceder a las prestaciones; (v) descentralizar la gestión y promover la participación de la población en ella. Que los programas mantuvieran estas características durante toda su vigencia no significa que permanecieran inamovibles. Las posibilidades de cambio estuvieron vinculadas al marco social y económico del país.

Los cambios institucionales

Después de la crisis de 2001, se inició una etapa en la que el Estado volvió a estar presente con políticas sectoriales. En términos macroeconómicos, tras la pesifica-

ción asimétrica y la megadevaluación de 2002, con su impacto en el comercio exterior y el salario real, la reestructuración de la deuda externa y el alza de los precios internacionales de los productos agropecuarios exportables, se inició un incremento de la actividad económica y del empleo. Estos factores reforzaron las ventajas competitivas de las producciones tradicionales (particularmente de los granos), pero también crearon condiciones favorables para el crecimiento del mercado interno, lo cual generó mejores posibilidades de desarrollo para los agricultores familiares.

Una innovación importante en las políticas para la agricultura familiar se produjo en 2005 con la creación, en el INTA, del Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico para la Pequeña Agricultura Familiar (CIPAF), que cuenta actualmente con cinco Institutos, uno en cada gran región de la Argentina. Otro cambio se produjo en 2006, coincidiendo con la renovación de las coordinaciones nacionales del PSA y el Proinder, cuando se adoptó una nueva modalidad en la gestión de la asistencia técnica: los Proyectos de Desarrollo Socio Territorial. En ese enfoque, los pequeños grupos de productores abandonaron su aislamiento y se unieron a otros, con los que compartían el territorio, y pasaron a ser atendidos por un equipo técnico interdisciplinario, que promovió un abordaje integral de sus problemas. Otra característica del enfoque fue la relevancia que adquirieron las organizaciones de agricultores familiares en los territorios (ver 'Organizaciones de la agricultura familiar' en este número).

El crecimiento organizativo se hizo palpable con la creación, en 2006, del FONAF mencionado al inicio de este trabajo. Este Foro, entre otras actividades, en un documento de políticas públicas para la agricultura familiar demandó la creación de un registro de agricultores (RENAF), el que se inició en 2007 bajo gestión conjunta del Estado y de las organizaciones de la agricultura familiar. Es voluntario y depende —entre otros factores— de la cobertura de dichas organizaciones. En marzo de 2014, tenía ingresados en su base de datos y contabilizados más de 90.000 núcleos de agricultura familiar. Como se señaló, esta categoría referida a hogares de agricultores familiares incluye desde campesinos hasta productores familiares con capital, por lo que su comparación con el subconjunto de las explotaciones agropecuarias relevadas censalmente, como son los establecimientos familiares citados antes, no puede realizarse; remiten a un universo que no puede ser conocido con la información disponible.


El cambio institucional más importante se produjo en 2008 con la creación de la Subsecretaría de Agricultura Familiar y Desarrollo Rural (hoy, Secretaría de Agricultura Familiar) dentro del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación. Por primera vez el Estado argentino cuenta con una dependencia dentro de su estructura para atender a un grupo de productores

en particular. Esta dependencia tiene una amplia cobertura geográfica porque convirtió las unidades técnico-administrativas del PSA en sus delegaciones. No existen formalmente, ahora, las limitaciones de los programas para atacar en forma diferenciada e integral problemas de fondo como son los de tierra, agua e infraestructura, o para introducir instrumentos que se proponen universales, como el Monotributo Social Agropecuario que permite a los agricultores familiares acceder a prestaciones sociales (jubilación, obra social).


En forma casi simultánea se crearon en 2009 una unidad para gerenciar los proyectos con financiamiento internacional, que siguen existiendo, y un proyecto destinado a pequeños y medianos productores que, con recursos del Tesoro Nacional, ensayó una modalidad de intervención que incluye una gama más amplia de agricultores familiares que los hasta entonces atendidos por los programas, a la vez que financió directamente a organizaciones de agricultores familiares con la intervención de municipios y provincias. Sin embargo, algunos autores señalan que la jerarquización y las acciones encaradas por el Estado para los agricultores familiares se adicionan sin modificar las bases del modelo agrario preexistente, con lo que el fortalecimiento institucional de la agricultura familiar corre paralelo a su debilitamiento estructural (es decir, relativo a la

concentración económica, sobre todo de medianas, grandes y megaempresas agropecuarias y agroindustriales). A ello contribuyen los cambios tecnológicos y la introducción de capitales extrasectoriales que dificultan la capacidad de reproducción de los pequeños productores.

Palabras finales

A manera de síntesis puede decirse que los programas de desarrollo rural fueron parte de una política que, con instrumentos e inversión muy limitados (menos de 400 millones de pesos totales entre 2000 y 2011), lograron alcanzar a una parte significativa del estrato más vulnerable de los agricultores familiares (casi 50.000 familias), permitieron hacer visible a este grupo social, contribuyeron a su organización y los pusieron en escena para reclamar por sus derechos. De ahora en más queda planteada para las nuevas instituciones la necesidad de desarrollar una política que potencie la capacidad de producir y colocar su producción, en el marco de una política sectorial que los incluya, remueva los problemas de tierra, agua, arraigo, y asegure los derechos de los agricultores familiares para su efectivo desarrollo. 

LECTURAS SUGERIDAS



APARICIO S, 1985, *Evidencia e interrogantes acerca de las transformaciones sociales en las regiones extrapampeanas*, Centro de Estudios y Promoción Agraria (CEPA), Buenos Aires.

CRAVIOTTI C, 2013, 'La agricultura familiar en Argentina: ¿fortalecimiento institucional y debilitamiento estructural?', XXIX Congreso de la Asociación Latinoamericana de Sociología, Santiago de Chile, 1-4 de octubre.

FONAF, 2006, 'Lineamientos generales de políticas públicas orientadas a la elaboración de un plan estratégico para la agricultura familiar. Propuesta preliminar', documento preparado por la comisión de trabajo

designada por las organizaciones representativas del sector y las autoridades de la SAGPYA, mimeo, Buenos Aires.

MANZANAL M, NEIMAN G y LATUADA M, 2006, *El desarrollo rural en su perspectiva institucional y territorial*, Ciccus, Buenos Aires.

OBSCCHATKO E, 2009, 'Las explotaciones agropecuarias familiares de la República Argentina', IICA-PROINDER. Buenos Aires. www.proinder.gov.ar/publicaciones

PROINDER, 1999 y 2002, 'Los programas de desarrollo rural en el ámbito de la SAGPYA', *Serie Estudios e Investigaciones*, N° 1. www.proinder.gov.ar/publicaciones

Marcos Horacio Easdale

Estación Experimental Agropecuaria Bariloche, INTA

Consecuencias de la agricultura familiar sobre los recursos naturales: tensiones entre el discurso y la realidad

La pequeña agricultura familiar es un sector distribuido a lo largo de todo el territorio argentino y muy heterogéneo en términos de producción, de las características de las familias y de los ambientes involucrados. Se la puede encontrar con actividades ganaderas en zonas áridas y semiáridas desde la puna hasta la Patagonia. Pero también en regiones muy contrastantes, con producciones intensivas y muy diversificadas asociadas a regiones húmedas y selváticas en Misiones, bosques de los Andes patagónicos, en los valles irrigados calchaquíes o cuyanos, en el Alto Valle del río Negro o en los cordones periurbanos de los grandes conglomerados del país.

De todas maneras, son los pequeños productores con base ganadera (con matices y diferencias zonales) los de mayor distribución espacial en el territorio argentino y sobre los que tratará este artículo. Su distribución se extiende a lo largo de la selva misionera, los esteros formoseños y mesopotámicos, la gran región chaqueña, los llanos riojanos y las serranías cordobesas, y los extensos y heterogéneos territorios puneños, cuyanos y patagónicos. Una de las características más relevantes en muchas de estas zonas es la íntima relación que tienen las comunidades rurales con los recursos naturales y el ambiente, en tanto constituyen su principal medio de vida.

Las familias que viven en estos ámbitos rurales dependen directamente de la provisión que hace la naturaleza de 'servicios' como el agua potable, la leña como principal fuente de calor, la madera para la construcción de viviendas, o diferentes especies vegetales para usos medicinales y como alimento. En este contexto, la actividad agropecuaria adquiere también relevancia como fuente de provisión de alimentos y abrigo, y como base de su economía doméstica. Pero la relación con la naturaleza también se refleja en otros aspectos culturales vinculados a su conocimiento del ambiente. Estos conocimientos involucran la mitología y otras señales o indicadores, que han evolucionado durante generaciones y que forman parte de sus prácticas de manejo, y la cosmovisión que tienen del mundo y de su realidad.

Esta relación tan cercana e íntima con la naturaleza contrasta en general con el estilo de vida 'moderno' que propone la residencia en áreas urbanas, principalmente en las grandes ciudades, más desconectadas del ambiente natural. En este contexto, algunas inquietudes frecuentes en ámbitos académicos y políticos buscan indagar acerca de cuál es el impacto de la pequeña agricultura familiar sobre los recursos naturales y el ambiente, y si difiere del impacto de otro tipo de producciones agropecuarias. Si bien la temática es compleja debido a las diferentes perspectivas que debieran tenerse en cuenta para responder

acabadamente estas inquietudes, se presentará a continuación una breve descripción de dos posturas contrastantes que primaron en las últimas décadas en el mundo y también en la Argentina. Estas posturas nos permitirán construir los extremos de un abanico de opinión que obviamente alberga situaciones intermedias, pero a partir de las cuales se intentará esbozar algunos conceptos utilizando ejemplos, y enfatizar posibles caminos sobre los que podría avanzarse.

Dos caras de una misma moneda

Por un lado están quienes establecen que los recursos naturales se encuentran degradados donde existen productores familiares de pequeña escala (comunidades indígenas y rurales en general). Las causas de esta degradación suele atribuirse a la falta de conocimientos suficientes para un manejo adecuado de los recursos naturales o al desconocimiento acerca de los daños que



generan sus decisiones y prácticas de manejo. La productividad es baja porque es baja su eficiencia y, por lo tanto, los ingresos económicos también son escasos. Entonces, para compensar esta situación suelen presionar más al ambiente. Pero al final de cuentas son sistemas de producción inviables.

Un ejemplo típico de esta creciente presión sobre el ambiente es el incremento de las cargas ganaderas (cantidad de animales por hectárea). Se aduce que los productores buscan tener más vacas, ovejas o cabras para obtener mayor cantidad de productos (terneros, corderos o chivitos) como una manera de mejorar los ingresos, en lugar de lograr los mismos resultados mediante una mayor eficiencia: menos animales, lo que reduce la presión sobre el ambiente. Las cargas ganaderas por encima de lo que el ambiente puede sostener generan un fenómeno de 'sobrepastoreo' que degrada la vegetación y promueve procesos de desertificación, como se ha detectado en la Patagonia, el chaco o la puna.

La degradación ocurre porque la pobreza empuja a los productores a presionar cada vez más sobre el principal recurso que tienen, perjudicándolos en el largo plazo. Generalmente se resalta que la actividad agropecuaria más tecnificada e intensiva es más eficiente y constituye el modelo productivo a seguir, para satisfacer la creciente demanda mundial de alimentos. La agricultura mecanizada y de alta productividad, basada en el uso de fertilizantes, pesticidas, de semillas y animales genéticamente superiores, y en avances biotecnológicos, constituye la vía de desarrollo agropecuario y rural, independientemente de la región.

Sin embargo, los pequeños productores no quieren adoptar tecnologías nuevas y tampoco les interesa modificar las que utilizan. De este modo se considera que sus sistemas de producción son primitivos y no incorporan los avances científico-tecnológicos que permitirían mejorar su producción y con ello su calidad de vida, y evitar así la degradación del ambiente. Entonces, hay quienes opinan que la forma más efectiva de conservación de los recursos naturales, especialmente en zonas con alto valor ecológico, es la generación de áreas protegidas. El mandato es excluir las producciones exógenas al lugar (por ejemplo, la ganadería doméstica) y favorecer la flora y la fauna nativas, promoviendo otro tipo de actividad económica como el turismo, o directamente el pago de un monto de dinero a cambio de preservar el ambiente natural.

Por otro lado, quienes defienden una postura contraria establecen que la pequeña agricultura familiar se basa en conocimientos tradicionales (culturales) y locales (no necesariamente universales) con relación al manejo y uso de los recursos naturales. Proponen que ese conocimiento ha evolucionado de una manera más respetuosa del ambiente que la producción intensiva basada en altos niveles de insumos y tecnologías. Discuten,

por ejemplo, que los impactos ambientales que se asignan en relación con la degradación del bosque chaqueño, promovida por la actividad ganadera de comunidades locales indígenas, es ínfima en comparación con las alternativas a las cuales se ha sometido ese ambiente en los últimos tiempos. En particular, la deforestación provocada primero por la actividad extractiva de leña, y principalmente madera para durmientes destinados a la construcción de vías de ferrocarril, y más recientemente con el avance de la agricultura.

Por ello la pequeña agricultura familiar suele presentarse como una alternativa a la producción agropecuaria intensiva en capital y tecnología, no solo en la forma de producción de alimentos sino también con relación a los estilos de vida y su relación con la naturaleza. Muchas de las estrategias de vida de la pequeña agricultura familiar están basadas en otras lógicas, en una adaptabilidad al ambiente y en hacer frente a diferentes amenazas. En esos contextos la eficiencia económica y la productividad no son medidas con las que se pueda evaluar la viabilidad de un sistema de producción, especialmente en el largo plazo. Estos productores han persistido en zonas y circunstancias muy desfavorables y donde otras alternativas no podrían prosperar.

Por ejemplo, la ganadería móvil como la trashumanza, en la que la familia y su rebaño se trasladan en el verano hacia los pastizales de altura de zonas montañosas y regresan a pasar el invierno en zonas de pastoreo más bajas y más cálidas, es una típica actividad llevada adelante por pequeños productores, también llamados *crianceros*, en muchas zonas de la cordillera de los Andes. Esta estrategia les permite aprovechar la heterogeneidad que ofrece el paisaje y reducir el impacto de sequías sobre los animales, sorteando la falta de agua y forraje al trasladarse a zonas menos afectadas por la falta de lluvias. El regreso de la montaña en el otoño les permite evadir la amenaza de nevadas o tormentas del invierno. La determinación de la carga ganadera tiene, entonces, dimensiones sociales vinculadas a los requerimientos mínimos de una familia o como reserva de valor frente a contingencias.

Esta perspectiva de opinión resalta que los problemas de degradación no son tales, o que en todo caso, y al igual que la pobreza, se deben a limitantes estructurales de orden fundamentalmente político y económico, como la disponibilidad de superficies de tierra pequeñas y menos productivas en relación con los productores capitalizados. Otros argumentos señalan deficiencias en las políticas orientadas al sector de la pequeña agricultura familiar, que existe un limitado reconocimiento de este sector en la sociedad y en la producción, que las propuestas tecnológicas han sido desarrolladas para productores de mayor escala y niveles de capitalización y, por lo tanto, no están adaptadas a la realidad de la pequeña agricultura familiar. Finalmente, otras ideas

proponen no modificar tales sistemas de manejo de los recursos naturales ya que los productores los conocen y los implementan en forma apropiada. En cambio, se considera necesario trabajar en la organización social para reivindicar sus derechos y mejorar su calidad de vida.

¿Quién tiene la verdad?

En primer lugar, y como en muchas otras circunstancias, todas las posiciones extremas tienden a cometer el error de generalizar un diagnóstico sobre la realidad, basado en unos pocos casos o en observaciones parciales. Más aun tratándose de un sector que tiene una vasta distribución territorial y está asociado a muy diversos tipos de producción agropecuaria y ambientes. En este debate cada una de las posturas sobre la situación de toda la agricultura familiar y su relación con el manejo y cuidado de los recursos naturales presenta verdades parciales y relativas a determinadas circunstancias.

Por un lado, muy pocos estudios identifican de qué manera el conocimiento de las comunidades rurales basados en agricultura familiar inciden en la conservación o en el estado de los recursos naturales en la Argentina. Por otro lado, muy pocos trabajos comparan los procesos de degradación de los recursos naturales en diferentes tipos de productores, modelos productivos y regiones. Entonces ¿cómo afirmar que hay más o menos degradación en la agricultura familiar debido al uso que hacen de los recursos naturales o del ambiente en general? Esta falta de información revela que las posturas anteriormente mencionadas tienen un mayor componente de ideología que una base consistente de información científica.

En el ámbito científico, tanto a nivel mundial como en América Latina y en la Argentina en particular, se está volcando un significativo esfuerzo en comprender mejor los aspectos socioculturales de comunidades indígenas y rurales en general, respecto de su relación con los recursos naturales, sus conocimientos y tecnologías. Se han reconocido muchas experiencias que muestran una relación más sustentable con el ambiente respecto de otras alternativas de producción agropecuaria dominantes en la actualidad, o al menos que las alternativas no son necesariamente mejores. Sin embargo, este esfuerzo no debe ocultar la realidad de que en muchos casos existen problemas de degradación ambiental y bajos niveles de eficiencias productivas. Pero hay que reconocer que las causas suelen ser múltiples y complejas, y que es un error asignarle culpas a un solo problema, queriendo con ello simplificar también las soluciones. Quizá el desafío más importante en este sentido está en generar propuestas de manejo y políticas que sean diferenciales y que estén adaptadas a las diversas situaciones que presenta un territorio tan vasto como el argentino.



Un ejemplo del norte patagónico

La denominada ‘línea sur’ en la provincia de Río Negro es una amplia región en el centro de la Patagonia. Se extiende al sur del río homónimo, entre las localidades de San Carlos de Bariloche en el extremo oeste y Valcheta en el extremo este, lindando hacia el sur con la meseta de Somuncura y el límite provincial con Chubut. En ella predominan los pequeños productores ganaderos, entremezclados con grandes estancias y productores capitalizados de mediana escala. Es una región estigmatizada por la desertificación, la pobreza y los problemas derivados de la falta de infraestructura general, que agudizan el impacto de situaciones ambientales desfavorables como la sequía o la caída de cenizas volcánicas, como la ocurrida recientemente.

Desde una perspectiva ganadera, estudios llevados a cabo por el INTA Bariloche muestran bajos niveles productivos en rebaños de pequeños productores. Quizá el aspecto más relevante en este sentido es que, para un año relativamente normal, se obtienen aproximadamente cinco a seis corderos por cada diez ovejas, y las principales pérdidas ocurren entre el parto y la señalada (momento en el cual se hace un recuento y una señal a los corderos obtenidos ese año). Estos mismos estudios encontraron que estos niveles bajos de eficiencia productiva también se observan en productores de mediana escala e incluso en estancias, con muy diversos niveles de carga

ganadera, desmitificando la idea de que la baja eficiencia es potestad exclusiva de los pequeños productores.

A partir de este diagnóstico se comenzó a trabajar en la mejora de la eficiencia con la premisa de mantener las características generales de los sistemas productivos (producción lanera), pero modificando ciertos aspectos que mejorarían sensiblemente la productividad ganadera global (producción de carne) y, a través de ello, el manejo de los recursos naturales. Tradicionalmente, el pastoreo es continuo y sin subdivisión de ambientes (particularmente en pequeños productores por falta de infraestructura), el parto ocurre a campo abierto y los animales solo se juntan para el servicio (abril-mayo), el momento de la esquila (agosto-septiembre) y la señalada (diciembre).

Los principales cambios propuestos en el manejo se focalizan en torno al momento del parto. Aproximadamente dos meses antes del parto, se juntan las ovejas o cabras preñadas, y se suplementa la dieta con forraje adicional reservado para este fin, especialmente para aquellas que se encuentren con un bajo estado nutricional y puedan comprometer la supervivencia de la cría. Mejorar la nutrición de la madre en este momento crítico de la gestación permite asegurar la supervivencia de la cría y una mejor lactancia en las primeras etapas de crecimiento. A su vez, esta práctica se puede complementar con el refugio en cobertizos, cuando los rebaños no son muy grandes. Habitualmente, la mera presencia del hombre y el mayor resguardo permiten reducir sensiblemente las pérdidas ocasionadas por depredadores como el puma

o el zorro, con un impacto relativamente bajo sobre el ambiente.

Finalmente, el manejo de los pastizales también puede mejorarse de manera notoria. Reservar espacios para concentrar las pariciones permite mejorar el estado de la vegetación, ya que se puede hacer un uso planificado dando descansos para su recuperación, y reduciendo así la presión de pastoreo en los distintos recursos forrajeros que ofrece el paisaje. Este conjunto de propuestas se adaptan muy bien y están siendo llevadas adelante con excelentes resultados especialmente por pequeños productores que viven en el campo y aún disponen de mano de obra familiar, en distintas zonas de Patagonia Norte.

Sin embargo, este tipo de producciones ocurren en un ambiente que por ciclos es muy hostil y desfavorable. En los últimos cinco años, la persistencia de una sequía severa junto con la caída de cenizas volcánicas en gran parte de la estepa patagónica rionegrina generó condiciones muy adversas para la producción y la vida en el campo. La reducción de forraje y de disponibilidad de agua, sumado a un efecto erosivo de las cenizas en la dentadura de los animales, provocó entre 2011 y 2012 mortandad generalizada en toda la región y en todos los tipos de productores. Esto afectó sensiblemente la producción y la economía regional, generando una situación de emergencia social que de a poco comienza a encontrar vías de recuperación.

Un aspecto revelador que emerge de esta situación es que mientras muchos productores capitalizados perdieron gran parte de su producción, e incluso algunos debieron abandonar la actividad, la gran mayoría de los pequeños productores se mantienen en el campo peleando por su actividad y su estilo de vida. Incluso en el momento de mayor crisis (luego de la erupción volcánica) fueron algunas pocas estancias y fundamentalmente agrupaciones de pequeños productores los de

mayor movilidad para buscar alternativas y soluciones para amortiguar el impacto sobre su producción. La organización de productores e instituciones públicas, la disponibilidad de subsidios en dinero e insumos (por ejemplo, forraje), las técnicas de suplementación de alimento y en algunos casos la venta o el traslado a tiempo de animales a otras regiones fueron de gran utilidad para amortiguar pérdidas que hubieran sido mayores.

Este ejemplo pone de manifiesto dos elementos. Primero, que existen alternativas para mejorar la producción ganadera y el manejo de los recursos naturales. Así lo demuestran las numerosas experiencias con productores ganaderos familiares en Patagonia Norte que son muy alentadoras, en términos de los resultados físicos pero también sociales, en tanto han ido generando un mayor acercamiento entre el conocimiento científico y el local. Segundo, las intensas y recurrentes variaciones en las condiciones ambientales, que parecen desafiar cualquier propuesta tecnológica, es mejor interpretada por muchos sectores rurales que a veces son estigmatizados como inviábiles o resistentes al cambio. Un reflejo incuestionable es la persistencia de los productores en el territorio, su apego a las raíces y a su estilo de vida, mientras que en otras regiones más al sur de la Patagonia y frente a crisis similares ocurrieron despoblamientos generales en los campos, muchos ocupados por productores con mayores niveles de capitalización.

Esta evidencia nos demuestra que todavía tenemos mucho por aprender tanto de la naturaleza como del conocimiento que las comunidades rurales tienen de su entorno y su actividad, si queremos promover un desarrollo territorial sustentable. La vivencia de los avatares y las dificultades de la vida en el campo, en conjunción con los incomparables beneficios y regocijos que ofrece el contacto directo con la naturaleza y de la propia producción, imprimen una experiencia muy íntima y a





veces contradictoria en los pobladores rurales, que en las generaciones más jóvenes se expresa en la disputa entre quedarse o buscar otros horizontes. El cuidado del ambiente no se puede pregonar sin un desarrollo rural, cuyo primer eslabón es mejorar la calidad de vida de las familias que viven en ese ámbito, de la mano de la producción de la cual dependen. En estos contextos, es difícil pensar que exista una sola verdad.

Un camino para una ciencia con respuestas

Se requieren nuevas formas de pensar y hacer ciencia. En primer lugar una ciencia más interdisciplinaria, que integre desde el diseño de los estudios abordajes sociales como ecológicos. El debate descrito anteriormente únicamente puede encontrar una solución solo si quienes están preocupados por la conservación de los recursos naturales interactúan con quienes están preocupados por las problemáticas sociales y con quienes buscan mejorar la producción agropecuaria como soporte central de la sociedad en términos de soberanía alimentaria. A su vez, debe

haber una mayor integración de científicos en procesos de extensión en los territorios, en trabajos participativos con las familias que viven y producen en estas zonas rurales.

Cambios como los descritos en el ejemplo insumen mucho tiempo, requieren trabajo en conjunto y de largo plazo e inversión en infraestructura y en conocimiento para el territorio. En otras palabras, es necesario promover nuevos mecanismos que permitan acercar y articular los conocimientos científicos con los saberes y las prácticas de la gente, y el Estado tiene una responsabilidad clave en promover estos cambios, a través de diferentes herramientas. Apuntalar la intención de generar procesos de aprendizaje social e innovación productiva que tengan un impacto positivo en la calidad de vida de las comunidades rurales, pero basado en un manejo sustentable del ambiente, porque es la base de la vida actual y futura. Estos procesos de aprendizaje e innovación promueven también cambios en los científicos, en la manera de conducir la ciencia, sus premisas para priorizar y abordar los problemas, y sugerir soluciones. **CH**

Este artículo se enriqueció con aportes y sugerencias de C Giraudo y S Villagra. Las fotos fueron tomadas por el autor.

María Ximena Arqueros
 Nela Lena Gallardo Araya
 Facultad de Agronomía, UBA

La huerta agroecológica como proceso de enseñanza-aprendizaje

Para los docentes de escuelas urbanas de todos los niveles puede ser un desafío introducir contenidos vinculados al mundo rural que resultan aparentemente ajenos a las vivencias cotidianas de los niños, estudiantes e incluso muchas veces de los mismos maestros. Pero, si observamos en nuestra cotidianidad, la vida urbana está totalmente conectada con la rural, y los alimentos son el ejemplo más contundente. En este artículo nos proponemos pensar en torno a las huertas urbanas como dispositivos experienciales que permiten evidenciar estas conexiones entre el mundo urbano y el rural de modo de facilitar los procesos de enseñanza y aprendizaje, sobre todo en las escuelas.

La experiencia que aquí compartimos fue recogida a lo largo de diecisiete años de trabajo en el Programa de Extensión Universitaria en Huertas Escolares y Comunitarias (PEUHEC). Este programa se inició por demanda de diferentes grupos sociales que se acercan a la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires pidiendo apoyo técnico para llevar adelante una huerta urbana. A través de este espacio hemos podido compartir con muchos docentes de escuelas primarias, secundarias, terciarios, de educación especial y de educación de adultos, las planificaciones de actividades que realizan en su labor cotidiana, y en este artículo presentamos algunos tópicos que pueden ser de utilidad si nos preguntamos ¿por qué y para qué hacer una huerta urbana educativa?

Quienes se acercan en busca de apoyo técnico (más aún si nunca han hecho huerta) tienen el anhelo inicial de ‘producir los propios alimentos’. Luego —y a medida que las huertas empiezan a concretarse— los propósitos se

tornan múltiples: terapéuticos, educativos, recreativos, entre otros. Entonces, aunque resulta evidente que hacer una huerta urbana no soluciona problemas estructurales como el hambre, la desnutrición o la inclusión social, hemos observado que las prácticas de huerta pueden estructurarse como un dispositivo pedagógico versátil que permite la satisfacción de diversas necesidades (participación, creación, afecto, identidad, ocio, protección, subsistencia, entendimiento y libertad) en forma simultánea y sinérgica.

Aunque no es una tarea sencilla, es posible armar una huerta urbana en diversas situaciones sociales, con abundancia o escasez de recursos, pues los implementos se pueden fabricar en forma casera y con los materiales dis-



Niños armando canteros. Escuela Profesor Juan Octavio Gauna, Caseros, Buenos Aires. Archivo PEUHEC

ponibles en cada lugar. Desde el inicio nos encontramos con (por lo menos) dos dificultades técnicas fundamentales: la poca disponibilidad de suelo fértil y la falta de acceso a las semillas. Hay diversas maneras de resolverlo: desde el PEUHEC promovemos un enfoque agroecológico para la producción de alimentos que persigue la sustentabilidad considerando tanto la dimensión económica, social y ecológica como la cultural, política y ética.

El manejo agroecológico –denominado comúnmente ‘natural’ o ‘ecológico’– busca impulsar experiencias de agricultura de pequeña escala en ámbitos urbanos y rurales, produciendo alimentos saludables y de calidad. Se basa en prácticas como mantener la biodiversidad, respetar los ciclos biológicos, producir las propias semillas



Antes y después. Huerta de la Escuela Normal Superior Mariano Acosta, CABA, armada en el patio de la escuela, en la que trabajan estudiantes de magisterio. Archivo PEUHEC

e intercambiarlas, y crear tecnologías de bajo costo sin la necesidad de insumos externos ni agrotóxicos. Este enfoque no solo atiende el manejo de los recursos y la dimensión económica y ecológica de los sistemas, sino que también considera la dimensión cultural, puesto que se constituye en un elemento central para la concreción y apropiación social de dichas actividades. Además, contempla una dimensión política crítica hacia la industrialización de la agricultura y los valores que sustentan las sociedades de consumo.

Desde lo metodológico, el eje está puesto en cómo, para qué, por qué y para quién producir, es decir, en el proceso de la producción de alimentos y los saberes que se ponen en juego para lograrlo. La integración de saberes científicos y populares es uno de los desafíos y uno de los pilares del enfoque agroecológico que habilita a plantear(se) preguntas y abrir debates acerca de diferentes temas. Está en las habilidades docentes dar la posibilidad para que estos saberes se pongan en juego en el espacio de huerta.

En lo que sigue enumeramos algunas cuestiones clave de la huerta para trabajar, con la finalidad de inspirar a los docentes en la planificación de sus actividades en las distintas áreas.

Los ciclos de la materia, la energía, el agua y las plantas: son temas que habilitan a trabajar desde las ciencias biológicas procesos ecosistémicos en diferentes escalas. También permiten preguntarnos ¿qué sucede con estos ciclos en las ciudades y qué elementos de estos ciclos tenemos que tener en cuenta para que una huerta funcione? Desde la agroecología se propone imitar los ciclos naturales a través de las prácticas de manejo; por lo tanto, una actividad fundamental es la observación de espacios verdes poco intervenidos por la acción humana, como puede ser un terreno baldío en las ciudades o alguna de las reservas de la costanera, en el caso de Buenos Aires. Es un momento ideal para poner a prueba experiencias vinculadas con el conocimiento del ciclo de vida de las plantas mediante germinadores, almacigueras y brotes, así como también la identificación de semillas, plántulas, flores y frutos por



Canteros elevados y abonera hechos con pallets reciclados. Tecnologías utilizadas en la Huerta-escuela del Centro de Innovación y Desarrollo para la Acción Comunitaria (FFYL, UBA) donde se trabaja en educación no formal de jóvenes y adultos del barrio de Barracas con estudiantes de la Facultad de Agronomía de la UBA. Archivo PEUHEC

medio de herbarios, el análisis de las partes vegetales que consumimos cotidianamente, la multiplicación sexual y asexual de las plantas, y el armado de una estación meteorológica u otras actividades que permitan sostener el interés hasta que la huerta empiece a tomar forma.

El diseño de la huerta: el diseño de la huerta refleja nuestra relación con la naturaleza y el ambiente. Para decidir, por ejemplo, la orientación, las dimensiones y la forma de los canteros, se ponen en juego diversas áreas de conocimiento. Algunas de ellas son las matemáticas (cálculo de volúmenes de tierra, dimensiones de canteros, cantidades de madera, superficies sembradas, cantidad de semillas, etcétera), la geometría (si elegimos formas rectas o curvilíneas, el armado de croquis de los canteros de la huerta) y las cuestiones estéticas vinculadas a los valores de nuestra cultura (lo que nos gusta y lo que no nos gusta, lo que nos parece ‘sucio’ o ‘prolijo’). Aquí nuevamente se propone como disparador observar e imitar la naturaleza, manteniendo al máximo la diversidad de especies animales y vegetales, no solo hortícolas sino también florales, frutales, acuáticas y otras.

El suelo: es el corazón de la huerta. Más allá de ser el sostén físico de las plantas, es un sistema complejo del que estas se nutren. Contar con tierra fértil es la principal limitante en las ciudades, por ello la mayor parte de las veces tenemos que ‘crear tierra negra’. Para esto la abonera y el lombricomposteo son prácticas clave que permiten disponer de tierra fértil y aprender todos los procesos físico-químicos que median hasta lograrlo. La construcción de la abonera nos lleva directamente a trabajar, por ejemplo, cuestiones vinculadas al reciclaje de residuos domiciliarios y el ambiente urbano. Es posible que dispongamos de un suelo que no está en condiciones óptimas de fertilidad química o no tiene buena estructura

física. En estos casos, también hay prácticas que permiten mejorarlos como la implantación de abonos verdes o la cobertura vegetal permanente del suelo con hojas, tallos, restos de cosecha o de la poda.

Es habitual que los suelos urbanos sean ‘de relleno’ y por lo tanto, si no sabemos la historia del lugar, es importante hacer un análisis de metales pesados y, si no, trabajar directamente con canteros sobre elevados rellenos de tierra de calidad, con procedencia certera. Todas estas prácticas se relacionan con diferentes contenidos que se aplican de forma gradual en todos los niveles de educación. Por ejemplo, es interesante investigar la relación que diferentes culturas tienen con ‘el suelo’. Para muchos pueblos indígenas de los Andes centrales de América del Sur, incluidos los del norte de nuestro país, la ‘Pachamama’ o ‘Madre Tierra’ es el núcleo del sistema de creencias y actuación ecológico-social.

El manejo de los cultivos hortícolas: la decisión de las especies a sembrar y su disposición en el espacio y el tiempo son otros aspectos fundamentales. La forma en que asociamos las especies (ubicándolas en los canteros en función de los distintos requerimientos nutricionales) y cómo las rotamos en la superficie de tierra disponible a lo largo de los ciclos productivos (primavera-verano/otoño-invierno con el objetivo de evitar implantar el mismo cultivo más de un ciclo productivo en la misma parcela) se vinculan directamente con discusiones acerca de la biodiversidad en los sistemas productivos. Mantener sistemas biodiversos temporal y espacialmente es otro de los principios del enfoque agroecológico. Aquí las ciencias biológicas aportan al entendimiento de los ciclos de vida de las plantas pero de manera interrelacionada con otros seres vivos. Desde las ciencias sociales también se puede pensar en los modos de producir de las sociedades



Aprendiendo a reconocer insectos benéficos.



Huerta del jardín de infantes Agronomitos en la Facultad de Agronomía, UBA. Archivo PEUHEC

en diferentes culturas y momentos históricos y en la influencia de las acciones humanas en el ambiente.

La sanidad de las plantas: este aspecto habilita discusiones vinculadas a diferentes concepciones de salud y enfermedad que entendemos no como situaciones estáticas y antagónicas sino como ‘caras de una misma moneda’. Aquí un principio rector de las prácticas es ‘suelo sano, planta sana’ y un suelo sano —es decir, con fertilidad natural física y química— depende del manejo. Un principio del manejo propuesto es que no ingresen al sistema sustancias de preparación sintética que puedan (además de eliminar determinados organismos) contaminar el agua o afectar a otros seres vivos, incluidos los humanos. Por la escala reducida y la finalidad educativa de las huertas es posible utilizar fertilizantes y preparados caseros a partir de sustancias de algunas plantas como la ortiga o el tabaco, que reducen las poblaciones de algunos insectos y hongos. La utilización de estos productos no solo permitirá realizar actividades (sobre todo con los niños) sin riesgo, sino también trabajar en todas las edades sobre temáticas como la salud, los medicamentos y las adicciones.

La autoproducción de semillas: la producción de semillas propias y la conexión con las redes de intercambio de semillas nativas y criollas son prácticas fundamentales para mantener cierta autonomía en el proceso productivo. Nos da la libertad para elegir qué queremos sembrar y por lo tanto comer, conociendo el origen de las semillas y asegurándonos que no hayan sido tratadas con agrotóxicos. Además de la importancia de mantener la diversidad de semillas en los sistemas productivos por su función biológica, esta perspectiva habilita a trabajar su función social, es decir su relación con la diversidad cultural, los rituales y las tradiciones en diferentes culturas. Otras cuestiones que pueden ser pertinentes para discutir es el origen de las semillas transgénicas y las implicancias de su patentamiento, temáticas relacionadas directamente con la producción de alimentos y la soberanía alimentaria.

La cosecha: es un momento que nos permite reflexionar sobre la nutrición, la calidad de los alimentos y el sistema agroalimentario. Responder a preguntas como de ¿de dónde vienen los alimentos que comemos todos los días? o ¿cómo es posible que comamos tomates todo el año? pueden ser la puerta de entrada para conocer y analizar diferentes sistemas de producción, distribución y consumo de alimentos vinculados a fenómenos como el supermercadismo o las políticas públicas de acceso a alimentos como las ferias itinerantes, así como también los mercados donde se establecen relaciones sociales de intercambio entre productores y consumidores de forma directa bajo la lógica de la economía social y solidaria. La cosecha es un buen momento para festejar y compartir la satisfacción de recoger los frutos del trabajo realizado y para reconocer la importancia del proceso mancomunado.

Diferentes sentidos de la huerta agroecológica en el ámbito educativo

En lo que sigue, nos proponemos reflexionar a partir de algunas expresiones de los maestros y maestras con quienes hemos trabajado sobre los diferentes sentidos que puede cobrar la huerta en la escuela.

‘La huerta es como un laboratorio vivo.’ Es un espacio que posibilita el acercamiento al método científico desarrollando la capacidad de observación de los procesos biológicos, los ciclos de la vida, la complejidad y la interconexión entre los factores bióticos y abióticos. Junto con las tareas hortícolas se pueden diseñar pequeños ensayos y experimentos para probar hipótesis, por ejemplo, sobre la permeabilidad de los suelos, las respuestas de las plantas a estímulos como el riego, la luz del sol, la distancia entre plantas, la asociación de especies, las fechas de siembra, la aplicación de preparados caseros para algún hongo o insecto, entre muchísimas otras. También se pueden hacer actividades asociadas con la huerta, pero dentro del aula, como la cría de lombrices y la realización de almacigueras y germinaciones.

Contar con este ‘laboratorio vivo’ permite dar contenido a nociones más complejas como la biodiversidad y comprender procesos tanto a escala célula (fotosíntesis, respiración) como a escala planta (ciclos de nutrientes) y comunidad (competencia, herbivoría, etcétera).

‘La huerta es un espacio de acción.’ Es, sobre todo, un espacio que abre la posibilidad de aprender haciendo. En palabras de Natalia González, maestra de nivel inicial: *Hacer genera entusiasmo porque se aprende a medida que se crea, y el proceso es verdadero, con raíces, hojas, frutos y los aprendizajes se cosechan día a día... la huerta es un proyecto que genera tanto entusiasmo que da lugar a muchos otros aprendizajes... no solo nos quedamos en las ciencias naturales. Hacer huerta no solo implica reconocer especies sino también escribir sus nombres en los carteles, contar semillas y medir canteros. Es aprender a crear, diseñar y proyectar para apropiarse del espacio. Aprender conceptos y procedimientos sobre cómo sembrar, ralear, cosechar, multiplicar, regar. Aprender a leer leyendas que tienen que ver con la agricultura de pueblos originarios y a escribir las propias historias de una huerta urbana. Aprender a cuidar a otros seres vivos y también a cuidarse uno mismo.*

La huerta es, además, un espacio que está fuera del aula y que por ello rompe con muchas estructuras escolares: *No es un proyecto que empieza y termina en un espacio físico, no se trata de volver al aula y dejarlo en anécdota, no es un experimento... la huerta nos brinda otro contexto como docentes... Y no es solo el espacio físico el que cambia, sino también la forma en la que se piensa y se da el trabajo allí, donde docentes y estudiantes tienen que crear colectivamente en pos del crecimiento de este espacio.*

Producir un alimento hasta cosecharlo y comerlo requiere trabajo sostenido en el tiempo... también aprendemos a tener paciencia. Es un proceso que permite com-

prender de dónde vienen los alimentos y dimensionar el trabajo que implica para quienes lo producen.

‘La huerta es un espacio de contacto con la naturaleza.’ Brinda la posibilidad de estar en contacto con ‘lo vivo’ dentro de la ciudad. Tocar la tierra, sentir los olores y los sabores de las plantas medicinales, vincularse con los ritmos naturales y los ciclos vitales suelen ser experiencias vinculadas con el placer y también el displacer porque permite discutir sobre nuestras propias creencias. Por ejemplo, el esfuerzo físico que implica producir alimentos sanos o los múltiples desacuerdos que surgen a la hora de tomar decisiones concretas como cuál será el destino de la cosecha. En muchas escuelas es, además, un espacio que embellece el entorno o recupera lugares abandonados con propuestas que despiertan nuevas ideas como el disfrute, la recreación al aire libre y la realización de actividades que nos invitan a salir de las aulas.

Las tareas hortícolas son un estímulo no solo para pensar acerca de la relación con otros seres vivos sino también para reflexionar sobre los diferentes grupos sociales y su interacción con la naturaleza, en tanto seres biológicos y en tanto seres sociales.

‘La huerta es un espacio de construcción colectiva.’

La huerta educativa es un proyecto necesariamente compartido, es un trabajo que si no es de forma cooperativa no florece, que si no fomenta el compromiso, se seca, porque conlleva trabajo constante y persistente. Hacer una huerta implica construir redes y acuerdos internos entre docentes, estudiantes, autoridades y personal de apoyo, asumiendo tareas que dan la posibilidad de integrar a toda la comunidad educativa.

También es una actividad a la que se pueden convocar los padres y funciona como espacio de encuentro e interfase de los docentes con las familias y de las familias entre sí. En momentos cuando se requiere mucho trabajo para rearmarla –como al inicio, o luego de las vacaciones o de una tormenta– es habitual organizar jornadas de trabajo. Es también una forma de incentivar la huerta en el hogar.



Meter las manos en la tierra. Archivo PEUHEC

Por otro lado, no es posible sostener una huerta agroecológica en medio de una ciudad si es un espacio ‘aislado’: la huerta propone trascender los límites físicos de la escuela o la facultad. Las redes de intercambio de semillas son los espacios urbanos donde se encuentran semillas genéticamente diversas, en cantidad suficiente, de calidad y sin tratamiento con químicos sintéticos.

Producir nuestros propios alimentos aunque sea una vez en nuestra vida puede ser una experiencia transformadora.

Desde esta perspectiva, las prácticas asociadas a la huerta urbana agroecológica como dispositivo pedagógico abren la posibilidad de dar sentido a conceptos como soberanía alimentaria, semillas nativas y criollas, comercio justo, calidad de los alimentos, producción de tecnologías situadas, trabajo cooperativo, enfoque de producción agroecológico, y esto nos facilita en parte el acercamiento a las diversas realidades de los productores de alimentos que en nuestro país siguen siendo, en gran medida, los agricultores familiares. **CH**

Participantes del Equipo de Coordinación PEUHEC <http://www.agro.uba.ar/extension/peuhec> y <http://huertaspeuhec.blogspot.com>

LECTURAS SUGERIDAS

ALTIERI M, 1997, *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Consorcio Latinoamericano sobre Agroecología y Desarrollo, Grupo Gestor Asociación Cubana de Agricultura Orgánica, La Habana.

ARQUEROS MX, DROVANDI L, GALLARDO ARAYA NL, HARRIS M y MONZÓN J, 2011, ‘Huertas urbanas como espacios de extensión universitaria, investigación y docencia: el caso del PEUHEC en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires’, XI Congreso

Iberoamericano de Extensión Universitaria, Santa Fe.

GALLARDO ARAYA NL, ARQUEROS MX, 2008, ‘La agricultura urbana: ¿Una práctica utópica en las ciudades posmodernas?’, VIII Reunión del Grupo de Trabajo Desarrollo Urbano de CLACSO en FLACSO, Buenos Aires.

GUZMÁN CASADO G, GONZÁLEZ DE MOLINA M y SEVILLA GUZMÁN E, 2000, *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*, Mundi Prensa, Madrid.



Tecnologías del sector agropecuario

Numerosas herramientas tecnológicas confluyen hacia objetivos perseguidos por los productores agropecuarios. La agricultura de precisión busca asignar los insumos del cultivo, como semillas o fertilizantes, según las características particulares de cada pequeña porción del terreno. Las mejoras genéticas apuntan a aumentar los rendimientos potenciales mediante un mayor crecimiento del cultivo y una mayor proporción de ese crecimiento que se destina a la parte co-

sechada de las plantas. Pero también apuntan a mejorar el comportamiento ante adversidades ambientales, en ocasiones mediante sofisticados ajustes moleculares. Parte de este mejoramiento se realiza mediante el conjunto natural de genes de las especies cultivadas y otra parte recurre a genes de otras especies para crear cultivos transgénicos, lo cual plantea un gran número de inquietudes. Entre las adversidades del ambiente, las plagas ocupan un lugar relevante y a la vez dinámico, por lo cual se plantean estrategias integradas.

Foto Kyle Spradley, MU College of Agriculture, Food & Natural Resources, *Flickr.com*.



Matías Ruffo

La agricultura de precisión

Una nueva tecnología para producir alimentos

La falta de uniformidad espacial de la productividad de los cultivos constituye una característica que los agricultores han percibido desde el origen mismo de la agricultura. Dentro de un lote cultivado es posible encontrar sectores de alta productividad, muy próximos a sectores menos productivos. Esta variación espacial suele estar asociada a cambios en algunas propiedades del suelo. Sin embargo, a pesar de ella, los agricultores manejan el cultivo de forma homogénea, es decir, uniformizando las dosis de fertilizante o la cantidad de semillas sembradas para todo un lote entero, más allá de las claras diferencias espaciales.

La razón de esta aparente contradicción tiene varias causas. Una de ellas es la dificultad que existía hasta hace pocos años para documentar y cuantificar cuánto varía el rendimiento de los cultivos en los distintos sectores de un lote. Las limitaciones de las máquinas agrícolas para modificar la dosis de aplicada de un insumo de manera sencilla y práctica es otra de las razones que limitó el manejo ajustado a las variaciones espaciales. Hoy en día, la realidad se ha transformado completamente y ambas limitaciones han sido superadas. El desarrollo de tecnologías que permiten obtener fácil e instantáneamente una referencia espacial precisa y una medida del rendimiento del cultivo que se está cosechando, como los sistemas de navegación satelital y de información geográfica, hacen

posible generar, almacenar y analizar cientos de observaciones por hectárea a una resolución espacial impensable tan solo unos años atrás. Esta información, a su vez, se utiliza para ajustar espacialmente el empleo de fertilizantes, semillas o agroquímicos, en forma automática.



Cosechadora equipada con monitor de rendimiento y GPS trabajando un lote de maíz.



Consolas para la aplicación variable de fertilizante

Este conjunto de tecnologías orientadas a mejorar la eficiencia de producción por medio del relevamiento y manejo de la variabilidad espacial y su relación en el tiempo con los cultivos se denomina *agricultura de precisión*. Tanto la agricultura de precisión como la aplicación espacialmente variable de insumos representan un nuevo paradigma para la agricultura porque permiten reemplazar el manejo uniforme por un manejo sitio-específico para cada fracción del lote, teniendo en cuenta la variabilidad de los factores que afectan el rendimiento de los cultivos.

¿Qué tecnologías forman parte de la agricultura de precisión?

La agricultura de precisión engloba un gran número de herramientas y tecnologías, algunas de ellas de aplicación masiva y prácticamente imprescindibles, mientras que otras son muy específicas y para condiciones particulares. Los sistemas de navegación satelital pertenecen al primer grupo. Estos sistemas están formados por una constelación de satélites que orbitan la Tierra y por una red de estaciones terrestres que los controlan (ver CIENCIA HOY, 104, 'Satélites como instrumentos científicos'). Las señales emitidas por estos satélites son recibidas por equipos terrestres que calculan la posición sobre la base del tiempo que demora la señal de diferentes satélites en alcanzar al equipo. Los equipos varían en tamaño, precisión, costo y, por lo tanto, en las aplicaciones en las que son utilizados. Por ejemplo, existen equipos manuales de relativamente bajo costo que tienen un error de posicionamiento de entre 6 a 15m, mientras que las con sistema de corrección diferencial propio, de mayor costo, poseen un error menor a los 2cm. Los de bajo costo se utilizan en el muestreo georreferenciado de suelos, mientras que los más sofisticados se emplean en lo que

se conoce como sistema de autoguiado de maquinaria. Los sistemas de posicionamiento globales (más conocidos como GPS) de alta precisión pueden ser utilizados también para relevamientos altimétricos y permiten desarrollar modelos digitales de elevación. Así, es posible generar mapas de atributos topográficos como elevación, pendiente, índice de humedad, entre otros, de utilidad tanto en el manejo de los cultivos como para la conservación de los suelos.

Los monitores de rendimiento conforman otra tecnología de rápida adopción y generalmente la puerta de entrada de muchos productores a la agricultura de precisión. Esencialmente consiste en un sistema que se monta en la cosechadora y que permite conocer el rendimiento del cultivo segundo a segundo. Está compuesto por un sensor de flujo de grano, otro de humedad y una computadora que integra las señales de estos sensores y calcula el rendimiento del cultivo. La computadora también puede asignar los datos de latitud y longitud provistos por el GPS a cada observación. Con esta tecnología se generan cientos de observaciones de rendimiento por hectárea, en lugar del promedio de rendimiento por lote que se obtenía tradicionalmente, lo cual permite analizar en detalle la variabilidad espacial de la productividad del cultivo.

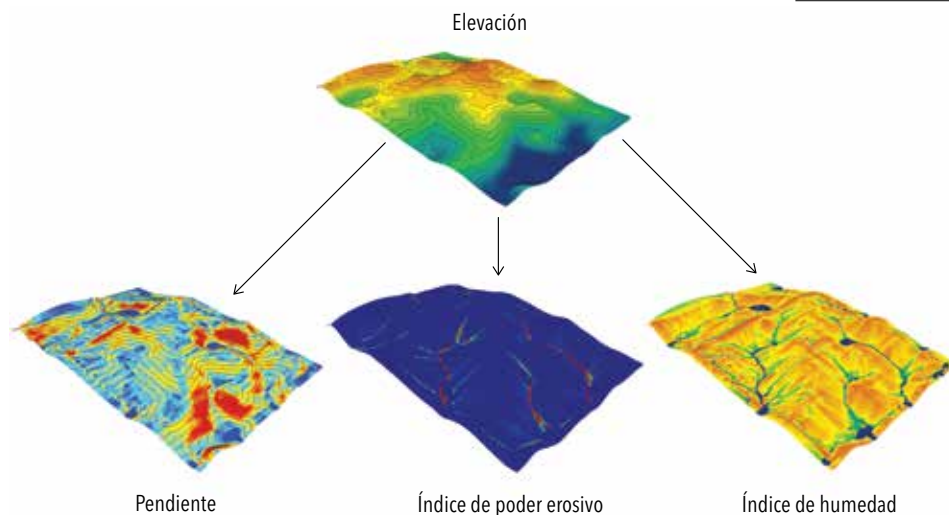
Los sensores remotos son instrumentos que permiten medir la cantidad y la calidad de la energía solar que reflejan el suelo y los cultivos de modo que es posible utilizarlos para determinar la cantidad de biomasa vegetal de los cultivos así como el grado de estrés causado por alguna deficiencia nutricional (nitrógeno, por ejemplo) o una enfermedad. La aplicación más común de estos sensores es la predicción del rendimiento de los cultivos sobre la base de índices que integran la información obtenida por estos sensores de radiación. Estos dispositivos pueden estar montados en satélites, aviones o equipos terrestres. La gran diferencia entre los sensores disponibles en cada plataforma es su nivel de resolución espacial (tamaño de píxel), el área de cobertura (generalmente inversamente relacionada a la resolución) y el tiempo de retorno a un sitio determinado, es decir, el lapso que transcurre entre una y otra toma de datos, algo que puede variar entre intervalos diarios hasta mensuales, en el caso de los satélites que orbitan la Tierra y que están equipados con este tipo de sensores.

Finalmente, existe otro tipo de sensores que permiten medir en tiempo real la capacidad del suelo de conducir la electricidad (conductividad eléctrica), que está correlacionada con diferentes características y propiedades tales como la concentración de sales, de arcilla, la humedad y la profundidad de suelo, entre otros atributos que tienen un fuerte impacto sobre la productividad de los cultivos. Estos dispositivos, no obstante, requieren de una cuidadosa y detallada calibración.

¿Cómo se utilizan estas herramientas?

Los productores agropecuarios, antes de la siembra de un cultivo, deben tomar decisiones relativas a la elección del cultivo y la variedad, la fecha de siembra y la densidad en que lo sembrará (cantidad de semillas por unidad de superficie). Asimismo, hay otra cantidad de decisiones de manejo que pueden ser tomadas luego de la siembra del cultivo y muchas incluso cuando el cultivo está en activo crecimiento. Por ejemplo, la decisión de aplicar un fertilizante, y a qué dosis hacerlo, puede ser tomada luego de la siembra e incluso cuando el cultivo está en pleno crecimiento. Otras decisiones de manejo –por ejemplo, la aplicación de productos sanitarios, como los fungicidas– deben ser hechas indefectiblemente con el cultivo en activo crecimiento.

En líneas generales, hay dos grandes estrategias para tomar decisiones de manejo del cultivo y aplicación de insumos: las estrategias proactivas, que se basan en el análisis de información previa a la siembra, y las estrategias reactivas, que utilizan al cultivo como indicador para la toma de decisión. Algunas decisiones, como la elección del genotipo y la densidad de siembra, se rigen



El procesamiento de los datos de latitud, longitud y elevación provistos por el GPS mediante sistemas de información geográfica permiten generar modelos digitales de terreno y calcular atributos topográficos que son valiosos para el diseño de prácticas de conservación de suelo y manejo de los cultivos.

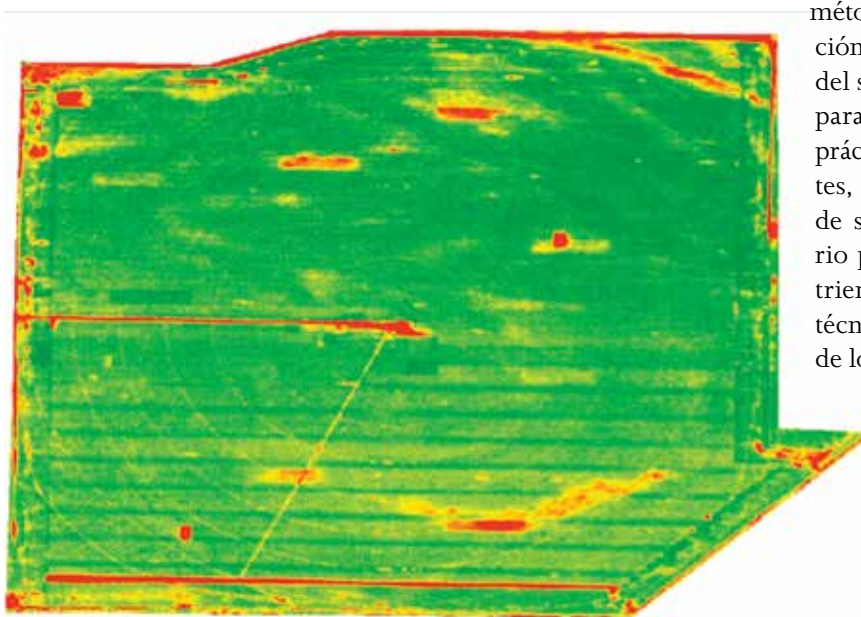
mayormente por estrategias proactivas, mientras que para la aplicación de fertilizantes o fungicidas cualquiera de las dos estrategias son viables.

Estrategias proactivas

Las estrategias proactivas requieren del procesamiento y análisis de información espacialmente explícita (georreferenciada) y tienen como resultado final la confección de una prescripción para la aplicación espacialmente variable de insumos. Esta prescripción se puede basar en unas pocas o muchas variables analizadas. El

método más simple, frecuente en la prescripción de fertilizantes, utiliza solo información del suelo y las recomendaciones desarrolladas para el manejo uniforme (tradicional). En la práctica, se basa en el muestreo en cuadrantes, típicamente de 1ha, tomando muestras de suelo que son analizadas en el laboratorio para determinar la disponibilidad de nutrientes o el pH. Luego, mediante diferentes técnicas de interpolación, se genera un mapa de los diferentes nutrientes y utilizando reco-

recomendaciones agronómicas se desarrolla una recomendación con la que se alimenta el equipo para la aplicación de ese fertilizante en forma variable. Este método, por ejemplo, es utilizado en los Estados Unidos de América para la aplicación de fósforo, potasio y encalado, este último para modificar la acidez del suelo, que son variables estables en el tiempo y no requieren



Las imágenes de cultivo obtenidas con sensores remotos de cultivo son utilizadas para cuantificar la heterogeneidad espacial en el crecimiento de las plantas. Las zonas verdes indican un alto desarrollo del cultivo y las zonas rojas, áreas sin cultivo.

del muestreo anual. Además, el costo relativo del muestreo y análisis de suelo es relativamente bajo en ese país comparado con el de la Argentina.

Una metodología alternativa para la aplicación variable de insumos que se ha impuesto en la Argentina es el manejo por zonas o ambientes. Esta técnica consiste en la división del lote tradicional que se manejaba en forma uniforme, en subzonas o ambientes homogéneos pero contrastantes entre sí. Es decir, se pasa de manejar un solo lote a realizar el manejo óptimo de sublotes determinados a partir de información georreferenciada. En la práctica, los ambientes son determinados mediante el procesamiento de información del cultivo, el suelo o una combinación de ambos. La información del cultivo proviene de imágenes satelitales y/o mapas de rendimiento de años anteriores. Una de las grandes ventajas de las imágenes satelitales es que, dado que existen archivos o bibliotecas de imágenes, resulta posible generar información de la variabilidad espacial y espacio-temporal de los cultivos en forma inmediata. También se pueden desarrollar mapas de ambientes utilizando atributos topográficos (elevación, pendiente) y edáficos (acidez del suelo, conductividad eléctrica). El uso de esta última metodología requiere de un importante trabajo de calibración local, porque las propiedades y características sitio-específicas que afectan la respuesta de los cultivos a los insumos aplicados varían entre regiones.

La determinación de los ambientes es un paso necesario pero no suficiente para realizar una recomendación agronómica. Para ello es imprescindible la interpretación de los factores limitantes del rendimiento en cada ambiente y de la disponibilidad de información técnica adecuada para realizar el manejo por ambientes. Por ejemplo, la aplicación variable de fertilizantes requiere de la caracterización de la disponibilidad de nutrientes

en cada ambiente, que en la práctica se realiza mediante la toma de muestras de suelo agrupadas por ambiente y su posterior análisis en el laboratorio. El muestreo por ambientes permite reducir drásticamente el costo de la caracterización de la disponibilidad de nutrientes comparado con el muestreo en grilla ya descrito y, por este motivo, es el enfoque más utilizado en nuestro país.

Otra alternativa para generar recomendaciones proactivas para la aplicación variable de insumos es desarrollar funciones de producción que incluyan propiedades y características sitio-específicas y su interacción con el factor en cuestión. Por ejemplo, para cultivos de maíz en Illinois (Estados Unidos), se encontró que el potencial de aporte de nitrógeno por parte del suelo y algunas características topográficas asociadas al drenaje del suelo determinan la forma e intensidad con que este cultivo responde a la fertilización nitrogenada. La gran desventaja de este método es que requiere de una importante inversión en investigación aplicada y por esta razón no ha sido desarrollado comercialmente.

Estrategias reactivas

Las estrategias reactivas consisten en la utilización del cultivo como indicador de la necesidad de realizar algún tipo de manejo correctivo ante la incidencia de un agente nocivo (plagas o enfermedades) o deficiencia nutricional. Aunque existen diferentes alternativas, esta estrategia se basa en el uso de sensores remotos, porque la reflectancia del cultivo en bandas específicas del espectro electromagnético está asociada a ciertos tipos de deficiencias. Por ejemplo, los cultivos deficientes en nitrógeno presentan una marcada reducción de la reflectancia en el infrarrojo y un incremento de la reflectancia en el espectro del verde y el rojo, haciendo posible entonces detectar y cuantificar esta deficiencia, su ubicación espacial, y remediarla. Si bien esta tecnología también es útil para la detección de enfermedades o de falta de agua, el diagnóstico y la recomendación de la fertilización nitrogenada es la aplicación que ha recibido la mayor atención y desarrollo tecnológico y comercial.

En teoría, es posible utilizar imágenes de sensores en cualquier plataforma, pero en la práctica, las imágenes satelitales presentan limitaciones operativas, como la imposibilidad de tomar imágenes con nubosidad, el prolongado tiempo de retorno y de procesamiento y entrega de la información para poder generar una prescripción. Los sensores montados en aviones permiten resolver algunas de estas limitaciones y tienen mayor resolución, pero su costo sigue siendo elevado y la disponibilidad de la información tampoco es inmediata. Las limitaciones de los sensores montados en satélites y aviones han llevado al desarrollo de sensores ópticos que son montados



Los sensores de conductividad eléctrica permiten inferir importantes características y propiedades del suelo.


en equipos que permiten la aplicación de nitrógeno o de herbicidas en tiempo real, a medida que el vehículo recorre el terreno. Estos sensores son activos, es decir que emiten su propia radiación, haciendo posible su uso bajo cualquier condición de nubosidad e incluso de noche, a diferencia de los sensores montados en satélites o aviones, que dependen de la radiación solar. Habitualmente, la utilización de estos sensores requiere de la utilización de franjas de referencia que no presentan limitaciones y que son utilizadas como indicador del estado óptimo del cultivo. Una de las limitaciones más importantes que tienen estos sensores consiste en que el período durante el cual es posible diagnosticar la fertilización nitrogenada es relativamente breve, y puede ser una limitante operativa en algunas zonas. La demora de la fertilización con el fin de generar un correcto diagnóstico incrementa, entonces, el riesgo de pérdida de rendimiento si el estrés es muy severo y no resulta posible corregirlo a tiempo.

Comentarios finales

La producción agrícola en la Argentina tiene características óptimas para la adopción de la agricultura de precisión, incluso mayor aún que en otros países donde la agricultura está altamente tecnificada, como en los Estados Unidos. Una razón importante para ello es la mayor superficie de los lotes de nuestro país con respecto a otros países, lo que resulta en un mayor grado de variabilidad espacial dentro de las unidades de manejo tradicional. Asimismo, aun conservando el mismo tamaño de lote, los suelos pampeanos tienen una mayor variabilidad espacial intrínseca (profundidad, textura, etcétera) que los del cinturón maicero norteamericano. Esta

mayor heterogeneidad, en parte, es el resultado de una menor historia e intensidad de fertilización, que tiende a homogeneizar algunas propiedades de los suelos.

También existen factores sociales y económicos que hacen que esta tecnología tenga un mayor potencial de adopción en la Argentina. La menor edad de los productores argentinos en relación con los norteamericanos y europeos facilita la adopción de tecnologías digitales. El factor económico es otro aspecto determinante. El productor argentino tiende a priorizar las tecnologías que mejoran la eficiencia del uso de los insumos y no necesariamente la productividad, como es el caso de la agricultura de precisión, mientras que los productores norteamericanos y europeos, motivados por subsidios asociados a la productividad de los cultivos, tienden a adoptar rápidamente tecnologías que incrementan el rendimiento.

Aunque la agricultura de precisión posee importantes ventajas y grandes oportunidades para mejorar la eficiencia de producción y el resultado económico, también presenta nuevos desafíos. Es una tecnología compleja que requiere de mayor conocimiento y capacitación. También requiere de la generación de nuevas recomendaciones desarrolladas específicamente para esta tecnología, la formación de equipos multidisciplinarios y la capacitación de técnicos y del personal de campo. No obstante, la presión para producir una mayor cantidad de alimentos en forma eficiente y sustentable convierte a la agricultura de precisión en una tecnología estratégica a desarrollar en nuestro país mediante el trabajo conjunto del sector privado y de las instituciones públicas. Solo de esta forma la agricultura de precisión dejará de ser una interesante promesa para transformarse en una tecnología adoptada en gran escala. 

LECTURAS SUGERIDAS

ARONOFF S, 2005, *Remote Sensing for GIS Managers*, ESRI Press.

PIERCE F J, 1997, *The state of site-specific management for agriculture*, ed. J Sadler, ASA, CSSA, and SSSA, Madison, WI.

PIERCE F J & CLAYD, 2007, *GIS Applications in Agriculture*, CRC Press, Boca Ratón.

Sitios web

INTA Manfredi, Argentina: <http://www.agriculturadeprecision.org/>

Universidad de Sydney, Australia <http://www.usyd.edu.au/agriculture/acpa/>

Universidad de Purdue, Estados Unidos: <http://www.agriculture.purdue.edu/ssmc/>

Foto United Soybean Board
or the Soybean Checkoff,
Flickr.com.



Daniel J Miralles

Facultad de Agronomía, UBA

Estrategias para aumentar la producción de alimentos

Una de las preocupaciones vigentes de gobernantes, técnicos, científicos, desde hace algunas décadas es la creciente demanda de alimentos y de su precio de mercado, en un contexto de incremento sostenido de la población mundial. Uno de los motivos de preocupación radica en que la tasa de incremento de la población no es acompañada por un incremento similar de la producción de alimentos, lo cual genera un desbalance entre demanda y oferta que pone en riesgo la provisión futura de alimentos.

Crecimiento poblacional y producción de alimentos

Desde mediados del siglo XX el crecimiento de la población humana ha experimentado crecimientos lineales. Las proyecciones para 2050 estiman que será necesario alimentar a una población mundial de casi 10.000 millones personas (figura 1). Esta demanda de alimentos estará aun más amenazada por el reemplazo, al menos parcial, de la matriz energética actualmente basada en energía fósil como petróleo, gas y carbón, por energía obtenida a partir de recursos renovables como los culti-

vos (biocombustibles). En otras palabras, el uso del área agrícola para biocombustibles competirá con el uso para la producción de alimentos.

Por otro lado, el mayor crecimiento de la población se concentrará en los países con menor desarrollo ya que los desarrollados, como los de Europa occidental, estabilizarán mucho más tempranamente su crecimiento poblacional. Esto es importante ya que muchos de los países que experimentarán el mayor crecimiento poblacional, y por ende la mayor demanda alimentaria, no son necesariamente los que producen la mayor cantidad de alimentos. Si bien este artículo no aborda este aspecto, resulta evidente que los escenarios futuros de oferta y demanda de alimentos tendrán importantes implicancias políticas.

En el mundo se cultiva una diversa cantidad de especies vegetales comestibles que producen granos (comúnmente denominados cereales y oleaginosos). Sin embargo, la base de la alimentación humana se sustenta solo en unas pocas especies de cereales que incluyen trigo, arroz y maíz. Más del 60% de la producción mundial de arroz y trigo y el 30% de la de maíz se destina al consumo humano. Por lo tanto, según las proyecciones de crecimiento poblacional de la figura 1, para satisfacer la demanda de alimentos en 2050 deberemos producir aproximadamente el 50% más de estos cereales que en la actualidad.

Una estrategia para incrementar la producción de alimentos es el aumento del área cultivada, si bien su alcance es limitado. Por un lado, buena parte de los suelos potencialmente disponibles no son aptos para la agricultura extensiva. Si bien en algunos lugares de América del Sur el avance de la frontera agrícola ocurre a expensas de selvas y bosques nativos, estos ambientes resultan muy frágiles ante la intervención agrícola, por lo que su conversión en zonas agrícolas no parece ambientalmente sostenible. Por otro lado, la expansión de las áreas urbanas, debido al crecimiento poblacional en ellas, ocurre a expensas de áreas rurales periurbanas, lo cual reduce la superficie cultivable.

Otra estrategia, y que ha sido crecientemente adoptada por los agricultores, es la intensificación agrícola que consiste en aumentar la proporción del tiempo en que una parcela de tierra permanece cultivada. De esta manera se logra una mayor producción por unidad de superficie a lo largo de un ciclo productivo. Esta tecnología involucra un diseño particular de secuencias de cultivos (rotaciones) de modo tal que optimice el apro-

vechamiento del agua, los nutrientes y la radiación solar. La intensificación, no obstante, requiere un equilibrio en la combinación de los cultivos y un manejo técnico particularmente idóneo que asegure la integridad de los recursos naturales involucrados y el rendimiento de los cultivos.

En definitiva, la mayor producción de alimentos requerida probablemente deba sustentarse más en el aumento de los rendimientos en las tierras actualmente cultivadas que en el cultivo de nuevas tierras. Si bien el desarrollo tecnológico orientado a reducir la incidencia de enfermedades y plagas o a aumentar el aprovechamiento de los recursos por parte de los cultivos es un camino posible, aquí trataremos las posibilidades que ofrecen los propios cultivos para modificar aspectos de su fisiología que redunden en mayores rendimientos.

Dinámicas de la demanda y la oferta de alimentos, ¿velocidades distintas?

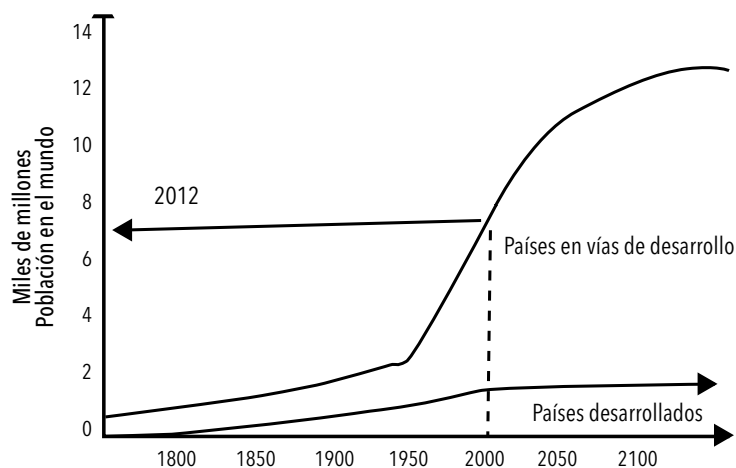


Figura 1. Crecimiento real y proyecciones de la población en el mundo en países desarrollados y en vías de desarrollo. Fuente: FAO 2009.

La proyección de la demanda de alimento establece cuánto deberemos aumentar el rendimiento de los cultivos para satisfacerla. En el caso del trigo y el arroz, cuya producción actual anual en el mundo entero es de más de 1.000 millones de toneladas, prácticamente la totalidad del grano producido durante los últimos años fue consumido por la población, lo cual evidencia la limitada capacidad de acopio y la dependencia de aumentos en el rendimiento para satisfacer la demanda creciente.

El rendimiento mundial promedio de trigo por unidad de superficie desde los años 60 hasta la actualidad aumentó a una tasa anual de 42kg/ha (figura 2a). Sin embargo, si se consideran los últimos veinte años dicha tasa se redujo a 36kg/ha (figura 2b) y descendió a 21kg/ha en la última década (figura 2c). En términos

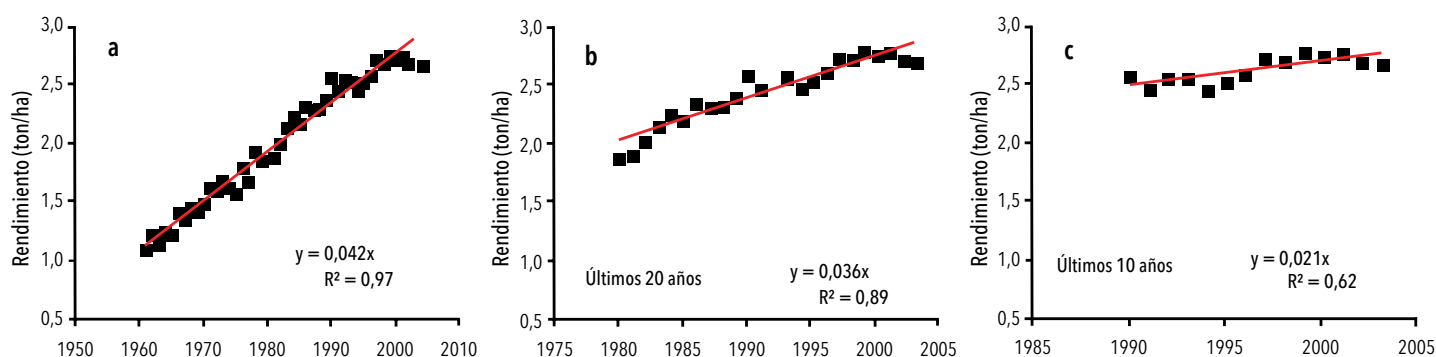


Figura 2. Rendimiento de trigo en el mundo y detalle de los últimos veinte y diez años. Los parámetros de las funciones corresponden a los ajustes mediante regresiones lineales (modificado de Miralles & Slafer, 2007).

relativos, las actuales tasas de incremento anual del rendimiento de los cereales oscilan entre 0,5 y 0,7%, mientras que las proyecciones basadas en la demanda indican que deberían alcanzarse tasas entre 1,1 y 1,3%. Entonces, el escenario más probable parece ser el de una demanda de alimentos insatisfecha en el futuro cercano, que debería promover el diseño de estrategias para aumentar el rendimiento de los cultivos que sostienen la base alimentaria mundial.

Estrategias para lograr aumentos en los rendimientos potenciales

El aumento cualitativo de los rendimientos de trigo y arroz registrados durante los años 60, en lo que se conoció como la Revolución Verde, se basó fundamentalmente en la reducción de la altura de las plantas, lograda mediante la introducción de genes de enanismo. Por un lado, la reducción de la altura de las plantas redujo el riesgo de vuelco (caída), por lo que aumentó la eficiencia de la cosecha. Paralelamente, la creación de plantas semienanas (como consecuencia de la reducción de altura) afectó el funcionamiento interno de las plantas de manera que una mayor parte de la energía obtenida mediante la fotosíntesis era redirigida hacia las espigas, que se volvieron más fértiles por la mayor disponibilidad de energía y produjeron más granos cosechables por unidad de superficie.

Si bien este camino fue exitoso en el pasado para lograr incrementos en los rendimientos, la relación entre el rendimiento y la altura de la planta responde a un óptimo, que ronda entre los 70 y 100cm (figura 3). Las plantas de mayor altura, además de ser susceptibles al vuelco, asignan proporcionalmente menos recursos al crecimiento de los granos mientras que las de menor altura, con su mayor asignación de recursos a los granos, no logran compensar las limitaciones impuestas por su porte pequeño.

Aumentos en la acumulación de biomasa y su asignación hacia las espigas

Desde hace algunos años, científicos de distintos países investigan estrategias que permitan incrementar el rendimiento potencial de los cultivos, es decir, aquel que se registra cuando el cultivo se desarrolla sin restricciones ambientales. Si bien estas condiciones no son frecuentes en los campos de producción, se ha demostrado que las estrategias de mejoramiento que aumentan los rendimientos potenciales también se traducen en aumentos de los rendimientos reales registrados en esos campos, aun cuando exista una amplia brecha entre ambos.

En el caso del cultivo de trigo, entre las distintas estrategias que se proponen para lograr aumentos en los rendimientos potenciales se encuentran las mejoras en



Pieter Brueghel, 1565. *La siega*. Cosecha de trigo en 1565 en la campiña europea. Nótese la altura de las plantas de trigo y además la proporción del tamaño de las espigas (muy pequeñas) en relación con la longitud de los tallos (muy altos). La cosecha se realizaba a mano y se acondicionaba en parvas para el secado de los granos.

la acumulación de biomasa y otras complementarias que permiten que una mayor fracción de esa biomasa acumulada se distribuya hacia los granos que se cosecharán. La forma en que la planta reparte la energía obtenida durante la fotosíntesis entre los órganos cosechables y el resto se denomina *índice de cosecha*.

En el primer caso lo que se procura es aumentar la eficiencia de uso de la radiación solar por parte del cultivo. Es decir que se trata de aumentar la cantidad de biomasa que se produce por cada unidad de radiación solar interceptada. Otra vía de mejora consiste en optimizar la distribución del nitrógeno dentro de la planta de modo que las hojas superiores contengan la mayor concentración de nitrógeno, un nutriente imprescindible para la construcción de las enzimas que intervienen en la fotosíntesis. Finalmente, una tercera alternativa consiste en mejorar la capacidad fotosintética de las espigas que contienen los granos durante el período de llenado de estos últimos.

Debido a que la mayoría de los cultivos de trigo en condiciones de campo alcanzan valores que prácticamente interceptan toda la radiación solar que incide sobre ellos (95%), la estrategia de aumentar más aún este aprovechamiento de la luz no despierta grandes expectativas. Sin embargo, lograr una mayor producción de biomasa mediante una mayor eficiencia del proceso de fotosíntesis constituye un gran desafío. Los eventuales aumentos de eficiencia requieren alterar numerosos atributos del cultivo que implican distinto grado de dificultad así como distintas expectativas de tiempo para modificar dichos atributos del cultivo. El aumento de la actividad de la principal enzima que interviene en la transformación del carbono del aire en azúcar (rubisco o ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa) constituye uno de los desafíos más importantes. Una mayor actividad de esta enzima mejoraría la capacidad fotosintética del cultivo y, por lo tanto, su capacidad de producir biomasa, que redundaría

en aumentos de rendimiento. Si bien esta alternativa es una de las que demandará más tiempo de investigación y desarrollo, en la actualidad se estudian los factores que inhiben la actividad de esta enzima a fin de poder bloquearlos, inhibirlos y/o desactivarlos.

Las estrategias tendientes a mejorar el índice de cosecha de las plantas dependen más de aumentar el número de granos producidos que su peso y tamaño individual (figura 3). En el pasado vimos cómo los aumentos en el índice de cosecha estuvieron asociados a la reducción de altura y las limitaciones que este camino ofrecía en el futuro. En la actualidad se investigan estrategias de incorporación de genes de otras especies al genoma del trigo, con el fin de aumentar la supervivencia de las flores. Por ejemplo, la introducción de genes de una especie gramínea (*Agropyro*, *Thinopyrum ponticum*), muy utilizada como alimento para ganado, ha mostrado rendimientos entre 10 y 20% superiores a sus congéneres no modificados genéticamente, debido a una mayor fertilidad de las flores y, en consecuencia, un mayor número de granos por espiga.

Otra estrategia para aumentar el crecimiento y tamaño final de las espigas que albergan los granos consiste en que a lo largo del desarrollo de la planta se prolongue la duración de los estadios reproductivos (crecimiento de las espigas) a costa de los vegetativos (crecimiento de hojas, tallo y raíces). Si bien los resultados experimentales son alentadores, ha resultado difícil transmitir la capacidad para modificar la duración relativa de las distintas etapas de

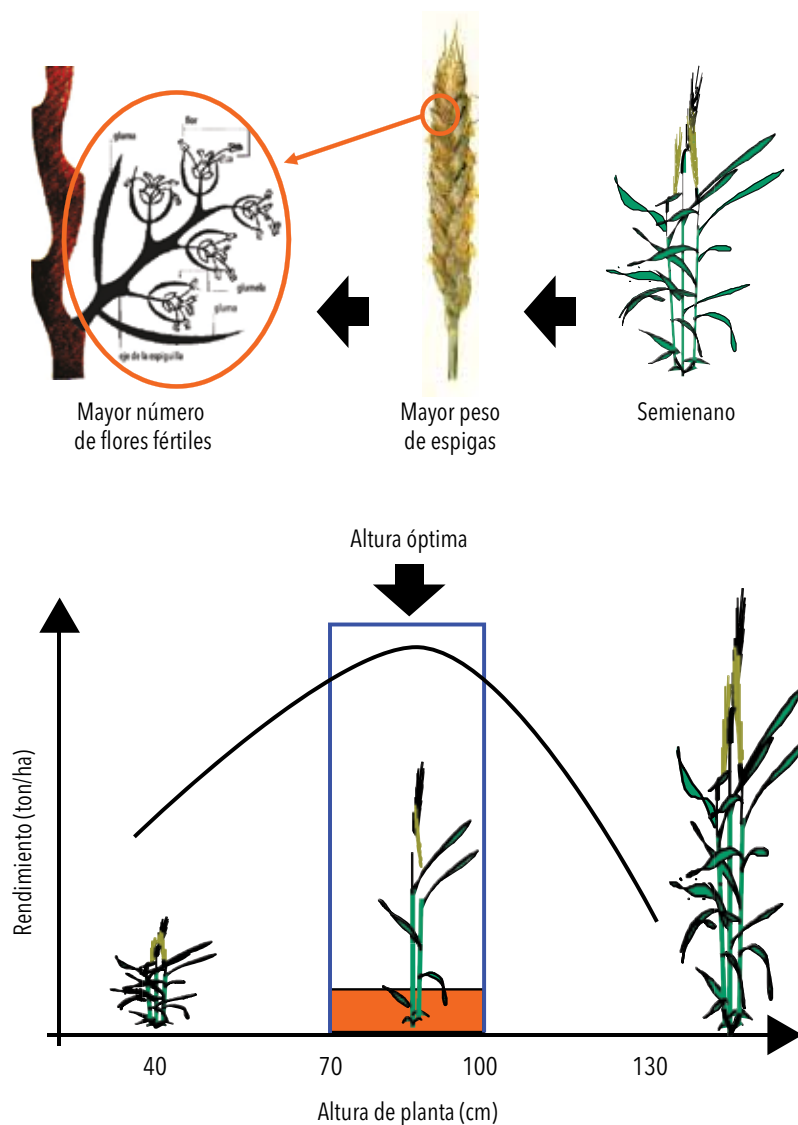


Figura 3. Esquema de la relación entre el rendimiento y la altura de la planta de trigo. Se destaca el rango de alturas en que se logran los rendimientos óptimos y la mayor cantidad de flores fértiles.

la planta de una generación a otra. A su vez, esta capacidad parece variar notablemente frente a cambios en las condiciones ambientales en las que crece el cultivo. Esta estrategia, no obstante, aún sigue siendo explorada a fin de identificar el grupo de genes que interviene en definir la duración de las etapas de desarrollo de las plantas.


Consideraciones finales

Las proyecciones del crecimiento de la población mundial indican que será necesario aumentar la producción de alimentos para satisfacer una demanda creciente. Como contrapartida, las actuales tasas de mejora del rendimiento de los cultivos más relevantes para la alimentación muestran aumentos inferiores a lo requerido que comprometen la seguridad alimentaria de los próximos treinta años. Esta preocupación ha intensificado la investigación hacia la exploración de estrategias para aumentar el rendimiento potencial de los cultivos por unidad de área debido a las limitaciones para incrementar el área sembrada.


La investigación de las últimas décadas ha demostrado que aumentos en los rendimientos potenciales de los cultivos producen efectos de arrastre en los obtenidos

bajo las condiciones reales de los campos de producción. Por lo tanto, comprender y modificar los factores que incrementan los rendimientos potenciales parece un camino promisorio para lograr mayores rendimientos reales. En este contexto, el trigo y el arroz son las dos especies que reciben la mayor atención ya que conforman la base de la alimentación mundial.

Aquí hemos presentado y discutido algunas estrategias para aumentar la producción por unidad de área, que varían en su factibilidad y tiempo necesario para desarrollarlas y difundirlas entre los agricultores. La biotecnología es una herramienta clave para acelerar los tiempos de dicha eficiencia, si bien requiere un profundo conocimiento de los mecanismos que determinan los aumentos de rendimiento y cómo varían frente a distintos escenarios de producción (climáticos y tecnológicos).

Sin duda, los avances en el futuro para incrementar la eficiencia de producción y los rendimientos manteniendo una adecuada calidad requieren de equipos multidisciplinarios de trabajo. En ellos, biotecnólogos, ecofisiólogos, mejoradores y técnicos deberán trabajar conjuntamente para acelerar la eficiencia y los tiempos de la mejora genética a fin de satisfacer una demanda creciente de alimentos en el futuro cercano. 

LECTURAS SUGERIDAS



BRUINSMA J, 2009, 'The resource outlook to 2050. By how much do land, water use and crop yields need to increase by 2050?', *FAO Expert Meeting on How to Feed the World in 2050*, FAO, Roma (<http://www.fao.org/wsfs/forum2050/background-documents/expert-papers/en/>).

HALL AJ & RICHARDS RA, 2013, 'Prognosis for genetic improvement of yield potential and water-limited yield of major grain crops', *Field Crops Research*, 143: 18-33.

MIRALLES DJ & SLAFER GA, 2007, 'Sink limitations to yield in wheat: how could it be reduced?', *Journal of Agricultural Science*, 145: 139-149.

REYNOLDS M et al., 2009, 'Raising yield Potential in Wheat', *Journal of Experimental Botany*, 60: 1899-1918.

SLAFER GA et al., 2001, 'Photoperiod sensitivity during stem elongation as an avenue to raise potential yield in wheat', *Euphytica*, 119: 191-197.

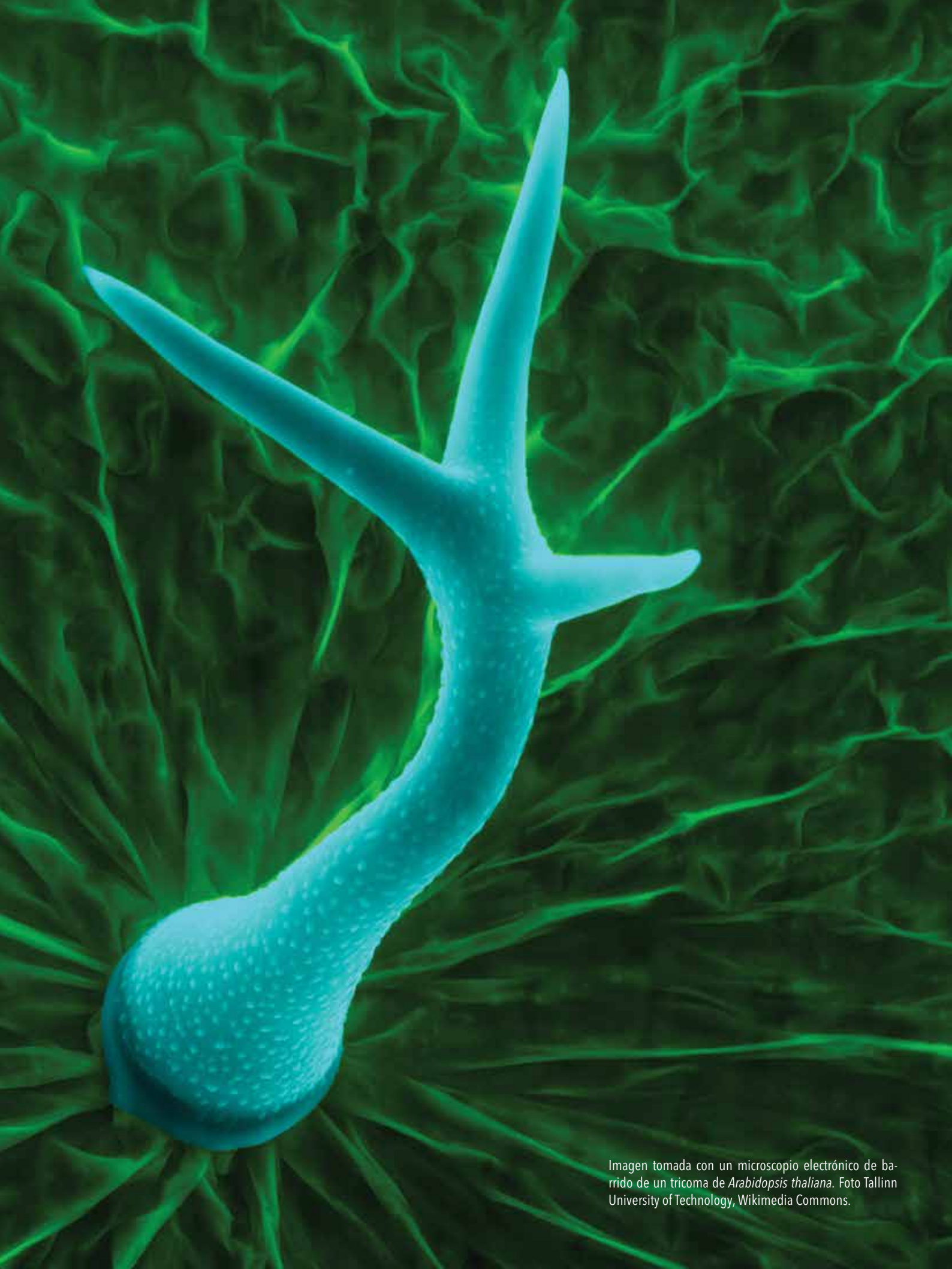


Imagen tomada con un microscopio electrónico de barrido de un tricoma de *Arabidopsis thaliana*. Foto Tallinn University of Technology, Wikimedia Commons.

Raquel Lía Chan y Daniel H González

Facultad de Bioquímica y Ciencias Biológicas

Universidad Nacional del Litoral

¿Cómo se adaptan las plantas a las condiciones desfavorables del ambiente? El caso de las proteínas HD-Zip

El desarrollo de los seres vivos

El desarrollo de cualquier organismo multicelular es el conjunto de fenómenos que participan en la formación de su cuerpo. A pesar de ser numerosos y variados, todos los fenómenos del desarrollo pueden incluirse en uno de dos procesos fundamentales: el *crecimiento* y la *diferenciación*.

El crecimiento es el aumento irreversible de tamaño del organismo debido a la combinación de la división celular, con la consiguiente producción de nuevas células, seguido por el aumento de volumen de las células así formadas. Si actuara aisladamente, el crecimiento daría lugar a un conjunto homogéneo de células. Por eso la formación de una estructura corporal organizada necesita también de la *diferenciación* celular. Durante este proceso grupos de células en distintas regiones del cuerpo se tornan estructural y funcionalmente distinguibles de las otras. Si bien en algunos casos el crecimiento ocurre sin diferenciación, o la diferenciación sucede en ausencia de crecimiento, en general el desarrollo de un organismo resulta de la actividad integrada de ambos procesos (figura 1).

Similitudes y diferencias del proceso de desarrollo en animales y plantas

Los organismos de reproducción sexual comienzan su existencia como una única célula: el huevo fertilizado o cigoto, cuyas sucesivas divisiones conducen a la formación del embrión el que da lugar al cuerpo del organismo adulto. Como ya se ha mencionado, las distintas células de un animal o de una planta son muy diferentes entre sí. Esto se debe a que en cada tipo de células se expresan distintos grupos de genes (ver recuadro 'La expresión génica'). Por lo tanto, el desarrollo y la diferenciación celular resultan de cambios en la expresión de genes, los que tienen lugar siguiendo un *programa* definido (figura 2).

El patrón de desarrollo de las plantas y de los animales muestra llamativas diferencias. El embrión de los animales ya tiene definida en gran parte la estructura corporal del organismo adulto, pues posee en forma rudimentaria los tejidos y órganos de este último por lo que puede considerarse una *versión en miniatura* del adulto. Por ese motivo,

en el desarrollo de los animales predomina el aumento de tamaño y el mantenimiento de un estado de funcionalidad eficiente.

Las plantas, en cambio, forman sus distintos órganos a partir de los meristemas que son grupos de células no diferenciadas que permanecen activas en los individuos adultos, lo que permite que las plantas alteren su patrón de desarrollo aun cuando este se encuentre en estadios avanzados.

Las alteraciones del patrón de desarrollo en respuesta a cambios del ambiente

Los seres vivos deben enfrentar cambios en las condiciones del ambiente. Estos pueden ser causados tanto por factores no biológicos (*abióticos*) como por factores biológicos (*bióticos*). Entre los primeros cabe mencionar cambios de la temperatura, la iluminación, la disponibilidad de nutrientes o de agua, la alteración en la concentración de sales o la presencia en el aire o en la tierra de sustancias nocivas, naturales o producidas por el ser humano. Los cambios bióticos incluyen, entre otros, las infecciones causadas por insectos, hongos, bacterias o virus.

Los ambientes desfavorables provocan *estrés* en el organismo afectado, por ello, la capacidad de respuesta del organismo al estrés es esencial para su supervivencia.

En los animales la respuesta más frecuente al estrés causado por el ambiente es el cambio en el comportamiento, que en la mayoría de los casos incluye desplazamientos que alejan al animal del ambiente desfavorable. Un ejemplo de esto son las migraciones estacionales en busca de alimentos o de condiciones climáticas más adecuadas. Este tipo de adaptación obviamente no puede ocurrir en las plantas.

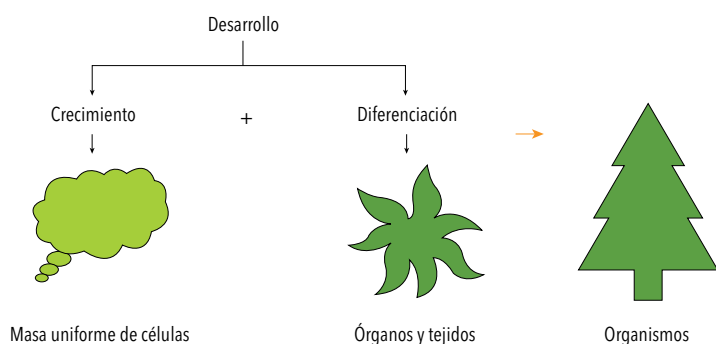


Figura 1. Esquema del desarrollo de un ser vivo pluricelular. El desarrollo es el conjunto de los procesos de crecimiento y de diferenciación. El crecimiento (izquierda) es el aumento irreversible de tamaño producido por la división y la expansión celular. Por sí solo da origen a una masa uniforme de células. La diferenciación (derecha) hace que grupos de células se tornen estructural y funcionalmente distintos entre sí. Solo los dos procesos combinados dan origen al desarrollo de un organismo pluricelular complejo como es una planta (derecha en el esquema).

La fuente primaria de energía de las plantas es la de la radiación solar que es transformada en energía química a través del proceso de la fotosíntesis. La amplia distribución de la luz solar en el planeta probablemente explique por qué la selección evolutiva no ha favorecido la aparición de movimientos en organismos fotosintéticos como las plantas. Estas han desarrollado, en cambio, mecanismos de adaptación al ambiente basados en la modificación de aspectos específicos de su desarrollo, lo que permite que las plantas optimicen la utilización de los nutrientes disponibles en una condición dada. Este tipo de adaptación es posible porque la *plasticidad del desarrollo* propia de las plantas les permite que programen adecuadamente la expresión de los genes que gobiernan este desarrollo.

¿Cómo 'perciben' las plantas los cambios ambientales?

Las plantas son capaces de detectar *señales* que les informan sobre los cambios del ambiente y de transmitir dichas señales a la maquinaria celular para activar los procesos de adaptación a las nuevas condiciones. Los mecanismos por los cuales se lleva a cabo esto son muy complejos y han originado numerosos estudios por parte de científicos de todo el mundo. El enorme interés que han suscitado no solo se debe a su atractivo para el avance del conocimiento sino también a que la elucidación de los mencionados mecanismos sería de gran utilidad en la agricultura para obtener variedades mejor adaptadas a determinadas condiciones ambientales.

Entre la detección de la señal y la respuesta a ella se encuentran las *vías de transducción de las señales*, algo así como un correo de postas en el que intervienen numerosos intermediarios químicos (llamados *mensajeros*) que van transmitiendo (y en algunos casos amplificando) la señal hacia los sitios donde se genera la respuesta. El conjunto de estas vías es el responsable de la adaptación a las variaciones ambientales.

El estudio de las vías de transducción de señales requiere aislar y caracterizar cada una de las sustancias que interviene en ellas. Si esto se lograra, sería posible utilizar estos factores para provocar total o parcialmente la respuesta adaptativa sin necesidad de la presencia de la señal externa que la provoca en condiciones naturales. Esto permitiría preparar a una planta para responder de antemano a condiciones adversas (figura 3).

Hasta ahora no se conoce en todo detalle ninguna de las vías de transducción; solo existe información parcial sobre alguna de ellas. Se sabe, eso sí, que la respuesta consiste, en general, en cambios en el tipo, la cantidad o la actividad de determinadas proteínas de la planta, lo que da lugar por un lado a la generación de proteínas útiles para la adaptación y por el otro a la interrupción de la formación de proteínas que son superfluas en las nuevas

condiciones. Estos cambios implican frecuentemente la activación o inactivación de los genes que contienen la información para sintetizar las proteínas involucradas. Los cambios en los genes suelen estar gobernados por unas proteínas denominadas *factores de transcripción* (ver recuadro 'La expresión génica' y figura 2).

Una de las respuestas adaptativas más estudiadas es la relacionada con las condiciones variables de iluminación. Las plantas responden a la cantidad y calidad de la luz que reciben, y modifican su desarrollo de forma tal que conduzca a optimizar la utilización de su fuente primaria de energía. Existen diversos *receptores* que responden a distintos tipos de luz (la calidad de la luz difiere tanto en su intensidad, dependiendo de la distancia del sol a la que se encuentre la planta, como de su longitud de onda que varía a lo largo del día). Su activación desencadena complejas respuestas adaptativas en las que participan numerosas sustancias.

Otra de las vías que ha sido estudiada en bastante detalle es la de la adaptación a la escasez de agua. Esta vía está relacionada con las que generan las respuestas a la alta salinidad y a las temperaturas extremas altas o bajas. Si bien cada una de estas situaciones da lugar a respuestas específicas, algunos de los componentes que intervienen en dichas respuestas son comunes a todas ellas ya que todas perturban la absorción y el transporte de agua por la planta. Se conocen varios mediadores de este tipo de respuestas pero se ignora cuáles son los receptores de las señales que las provocan (esto es, cuál es el lugar primario de acción de la falta de agua, del frío o de la alta salinidad). Se sabe sin embargo que durante la respuesta de la planta a estos cambios ambientales aumenta la concentración de una hormona —el *ácido absísico*—, lo que promueve cambios que tienden a aumentar la tolerancia de las plantas a las alteraciones ambientales. Estos incluyen el cierre de los estomas

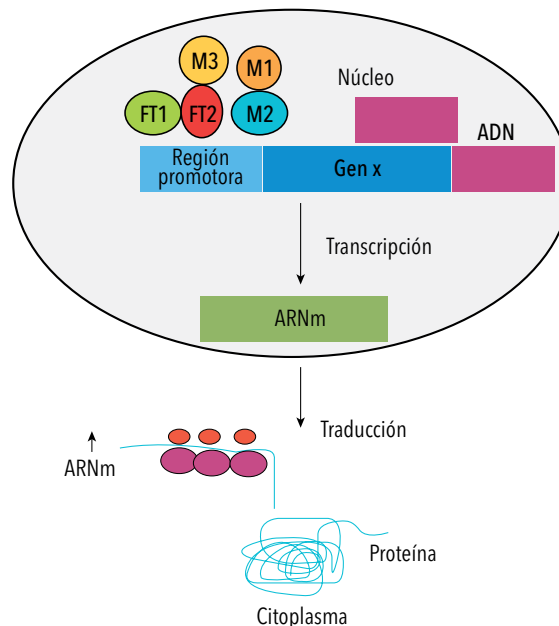


Figura 2. Esquema de cómo se produce la expresión génica. En el núcleo de la célula tiene lugar el proceso de transcripción, en el que distintos componentes (M1 a M3 en la figura) hacen que la información genética contenida en el ADN de un determinado gen sea transferida a un tipo de ARN llamado ARN mensajero. Este proceso está regulado por factores de transcripción (FT en la figura) que reconocen secuencias específicas en la región promotora de un determinado gen (X). El ARN mensajero se exporta hacia el citoplasma, donde es traducido en los ribosomas con la ayuda de la maquinaria traduccional (rojo en la figura) y da como resultado la proteína codificada por el gen X.

(que son las estructuras a través de las cuales tiene lugar el intercambio de gases, y que permiten la pérdida de vapor de agua) y la producción de proteínas que parecen estar involucradas en la protección de la maquinaria celular frente a las nuevas condiciones ambientales.

LA EXPRESIÓN GÉNICA

En casi todos los seres vivos la información genética se encuentra almacenada en el ADN (ácido desoxirribonucleico), la excepción son algunos virus que almacenan esta información en el ARN (ácido ribonucleico). La lectura, el desciframiento y el uso de esta información en las células es un complejo proceso que requiere del ARN y de una serie de proteínas.

Según el llamado 'dogma central de la biología', la información genética contenida en el ADN se utiliza para formar un tipo de ARN llamado *ARN mensajero*, mediante el proceso denominado *transcripción* que ocurre en el núcleo de los organismos eucariotas.

Cada ARN mensajero contiene la información necesaria para la síntesis de una proteína en particular. Esta tiene lugar en el citoplasma y se denomina *traducción* (figura 2). El término *expresión génica* designa al proceso por el cual la información codificada en el ADN es utilizada para la obtención de un producto final, que habitualmente es una proteína.

Si bien cada célula de un organismo contiene toda la información genética del individuo al que pertenece, solo algunos genes se expresan en cada tipo celular. Esto se debe a la existencia de un *programa de expresión génica* que determina cuándo y cuánto debe expresarse cada gen en cada momento y en cada célula y cómo este proceso debe responder a determinados estímulos. En general, aunque no siempre, la regulación ocurre durante la transcripción por eso la eficiencia de este proceso determina qué cantidad de una proteína se sintetizará.

En la regulación de la transcripción de los genes intervienen *factores de transcripción*. Estos son proteínas que se unen a secuencias específicas de ADN dentro de las llamadas *regiones promotoras* del gen, y determinan en qué medida estos genes se transcriben. Por eso los factores de transcripción desempeñan un papel clave en la regulación de la expresión génica.

Factores de transcripción de plantas. Proteínas *homeóticas* y proteínas con *homeodominio*

Los factores de transcripción son proteínas que reconocen secuencias específicas de ADN en los genes llamadas *promotores*. La regulación de la expresión genética depende de estos factores y de las secuencias del ADN en las regiones de los genes sobre las que actúan los factores. De acuerdo con estas variables, los factores de transcripción pueden actuar en forma positiva o negativa, esto es, promoviendo o inhibiendo respectivamente la expresión de los distintos genes que regulan.

En condiciones naturales la presencia de cada uno de los factores es esencial para que se cumpla el programa de desarrollo. Cuando estos aparecen en un lugar o en un momento inadecuado pueden provocar alteraciones graves y hasta letales.

La síntesis de los factores de transcripción depende también de genes. En las plantas, se han identificado y caracterizado, siguiendo diversas metodologías, numerosos genes que codifican la síntesis de los mencionados factores. Esto ha permitido comparar la estructura de los factores vegetales con la de los factores animales. De esta comparación resulta la observación de que en ambos reinos los factores de transcripción comparten regiones (*dominios*) de idéntica estructura. Si bien parece atractivo interpretar esto como indicación de que los mecanismos de regulación de la expresión génica son similares en animales y plantas, la visión actual del asunto es algo diferente ya que postula que la similitud estructural de los factores de transcripción entre especies muy diferentes no necesariamente significa que los procesos de regulación en los que estos están involucrados sean los mismos.

Los homeodominios

Un ejemplo que ilustra esta compleja situación es el provisto por la familia de factores de transcripción que contienen los llamados *homeodominios*. Para explicar el significado de este término resulta útil describir el caso de la mosca *Drosophila melanogaster*, comúnmente llamada mosca de la fruta. *Drosophila* es uno de los organismos más utilizados por genetistas y por biólogos moleculares. En ella existe una serie de genes llamados *homeóticos*, que son responsables del control de la distribución en el espacio y en el tiempo de ciertos procesos de desarrollo. El término *homeótico* se debe a que ciertas mutaciones (cambios puntuales) de estos genes generan el fenómeno de *homeosis*. Este es el cambio de un segmento corporal por otro. Por ejemplo, en *Drosophila* la mutación *antennapedia* produce individuos con patas en el lugar donde deberían encontrarse sus antenas, mientras que la mutante *bithorax* genera

individuos con un tórax doble provisto de su correspondiente par de alas extras.

Se ha comprobado que muchos de los genes *homeóticos* poseen en su ADN una región con una secuencia característica llamada *caja homeótica* (*homeobox*). Esta codifica la síntesis en la proteína —que es un factor de transcripción— de un segmento llamado *homeodominio* que es responsable de la unión al ADN. Al estar afectados los factores de transcripción, estos producen las mutaciones *homeóticas* en *Drosophila* que modifican la expresión de numerosos genes. Este hecho explica los grandes cambios que estas mutaciones producen.

Una vez que fueron identificadas las cajas *homeóticas* de *Drosophila* se comprobó que los genes que las contienen poseen secuencias que son similares a las observadas en genes de organismos eucariotas tan diversos como hongos, anfibios, mamíferos y plantas, lo que indica que estas secuencias han sido muy poco modificadas en el curso de la evolución. Se sabe que existen varias decenas de genes con cajas *homeóticas* en cada especie vegetal. Las proteínas codificadas por estos genes han sido clasificadas en distintas familias y subfamilias de acuerdo con sus características estructurales.

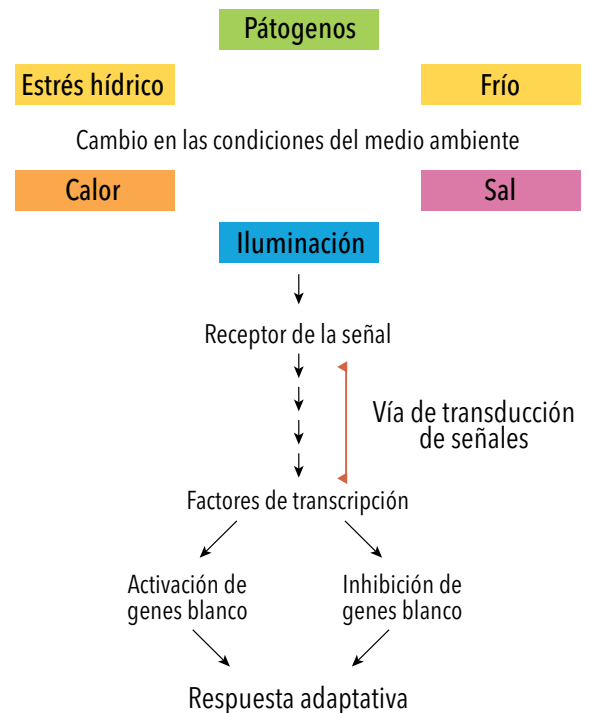


Figura 3. Generación de la respuesta adaptativa de las plantas ante cambios en las condiciones ambientales. Las plantas ‘sienten’ los cambios del ambiente porque estos actúan sobre distintos receptores. Desde estos receptores se dispara una vía de envío de señales en la que interviene una serie de sustancias de las cuales una es generalmente un factor de transcripción (ver texto). Este factor inhibe la expresión de algunos genes y activa la de otros. El conjunto de cambios en los niveles de expresión de los genes es la respuesta adaptativa de la planta.

La familia de proteínas HD-Zip

Entre las proteínas de plantas que contienen un homeodominio resultan de especial interés aquellas que pertenecen a la familia llamada HD-Zip. En esta nomenclatura HD significa homeodominio y Zip cierre de leucinas (del inglés *leucine zipper*; *zipper* significa cierre a cremallera, frecuentemente llamado cierre relámpago, la leucina es uno de los aminoácidos propios de la estructura de las proteínas). El cierre de leucinas permite la unión de dos proteínas para formar un dímero.

Si bien los homeodominios y los cierres de leucinas han sido identificados en proteínas pertenecientes a todos los organismos eucariotas en los que han sido buscados, la presencia de ambos dominios en una misma proteína solo se ha constatado en las de vegetales, los que contienen en cada especie entre 20 y 50 variedades distintas de proteínas HD-Zip.

Se ha sugerido que las proteínas HD-Zip solo aparecen en vegetales porque participarían en procesos vinculados al desarrollo que son exclusivos de las plantas. Los genes que codifican la síntesis de estas proteínas han sido identificados y aislados, entre otras especies, en girasol, zanahoria, tomate, soja y *Arabidopsis* (ver recuadro 'Arabidopsis thaliana, el modelo vegetal').

¿Cómo se determina la función de los factores de transcripción de las plantas?

Para esto se utilizan actualmente dos estrategias. Una requiere disponer de plantas con mutaciones en el gen sometido a estudio mientras que la otra consiste en producir plantas *transgénicas* en las que el gen no está modificado pero se *sobreexpresa* o se *silencia*. En ambos procedimientos, el análisis de las características de las plantas modificadas permite inferir la función de la proteína codificada por el gen alterado.

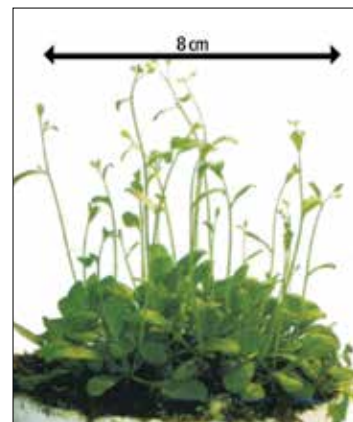
Inicialmente, el trabajo con mutantes requería reconocer primero qué mutaciones daban lugar a un cambio de interés para solo entonces identificar el gen afectado. Actualmente se ha acumulado suficiente información sobre la estructura de los genes de diversas plantas, como para recorrer el camino inverso y generar mutantes en un gen conocido para estudiar luego las alteraciones que se producen. Este procedimiento se denomina *genética reversa*.

En las plantas, la producción de mutantes 'a pedido' no es tarea sencilla. Por ese motivo, lo que se suele hacer es realizar mutaciones al azar, para luego identificar y estudiar las plantas que tienen mutado el gen de interés.

La segunda de las estrategias mencionadas consiste en transformar plantas de modo que un gen se anule o se

ARABIDOPSIS THALIANA, EL MODELO VEGETAL

Arabidopsis thaliana, una pequeña planta de la familia *Cruciferae* (*Brassicaceae*), o familia de la planta de mostaza, se ha convertido en el organismo de elección para realizar investigaciones básicas en biología vegetal. Científicos de todo el mundo usan esta sencilla planta para comprender distintos aspectos de la estructura y función de los vegetales. Los beneficios de emplear una planta modelo para comprender procesos básicos de todas las plantas superiores han cambiado la manera en la cual los biólogos llevan adelante sus investigaciones en plantas y han expandido la apreciación de la relevancia de la ciencia de los vegetales.



Varias son las ventajas que justifican la elección de *Arabidopsis*: entre ellas cabe mencionar que se trata de una planta pequeña de bajo costo con un ciclo de vida corto (aproximadamente ocho semanas), que es fácil de cultivar y que produce un gran número de semillas. Permite hacer múltiples ensayos en espacios relativamente reducidos. En comparación con otras plantas, posee un genoma pequeño cuya secuencia se conoce desde 2001. Este genoma contiene un bajo número de secuencias repetitivas, lo que simplifica el análisis genético. La relativa facilidad con que estas plantas se pueden transformar ha promovido su empleo en investigación básica, con el fin de mejorar la comprensión de determinados procesos biológicos a través de la introducción en el genoma de *Arabidopsis* de secuencias de ADN tanto propias como provenientes de otros organismos.

La semejanza entre *Arabidopsis* y la mayoría de las plantas con flores hará que, una vez que hayan sido descubiertas todas sus características bioquímicas, genéticas y funcionales, se pueda aplicar este conocimiento para comprender el funcionamiento del resto de las plantas. Esto se ha corroborado en muchos, aunque no en todos los casos estudiados, lo que indica que, si bien *Arabidopsis* es de enorme utilidad, hay que ser cauteloso al extrapolar resultados obtenidos con ella a otras especies vegetales.

La capacidad de *Arabidopsis* de desarrollarse, reproducirse y responder al estrés y a la enfermedad de manera muy similar a las plantas de interés agronómico también ha convertido a *Arabidopsis* en modelo de elección para la identificación, el clonado y el análisis funcional de genes. Este es uno de los aspectos más interesantes para la investigación biotecnológica. En efecto, una vez que se haya identificado un determinado gen en *Arabidopsis thaliana*, resulta fácil encontrar el gen que cumple la misma función en otras plantas.

Los países desarrollados y las empresas agroindustriales invierten continuamente en investigaciones que utilizan *Arabidopsis*. En los últimos años esto ha producido un considerable aumento en el número de publicaciones científicas en las que se utiliza esta planta.

expresen en todas las condiciones. Esto se logra generalmente con un promotor fuerte (esto es, un segmento de ADN cuya secuencia de nucleótidos dirige la expresión de un gen con intensidad mayor a la normal). También se pueden utilizar promotores inducibles, que dirigen la expresión en determinados tejidos u órganos ante determinados estímulos. Los cambios producidos por la sobreexpresión o la anulación del gen en estudio ayudan a inferir las funciones del mismo.

La función de los factores de transcripción de tipo HD-Zip en la adaptación de las plantas al ambiente

Los genes de la familia HD-Zip se expresan en muy distintas etapas del desarrollo y en diferentes órganos de la planta. Se ha observado que la expresión de algunos de estos genes es afectada por la presencia de hormonas o por cambios en las condiciones ambientales. Esto coincide con la hipótesis postulada inicialmente por Schena y Davis (de la Universidad de Stanford en los Estados Unidos), en 1992, que asignaba a esta familia de proteínas funciones relacionadas con características propias del desarrollo de las plantas y en particular con la ya mencionada capacidad de modificar el patrón de su desarrollo en respuesta a los cambios ambientales. La existencia de un gran número de proteínas HD-Zip y la capacidad que poseen de interactuar entre ellas parecen confirmar la propuesta de Schena y Davis.

A pesar de que la complejidad de las interacciones de las proteínas HD-Zip hace difícil establecer en detalle la función de cada una de ellas, en los últimos años se ha logrado conocer la función de algunos de los genes que codifican su síntesis. La mayoría de los estudios sobre este asunto se llevaron a cabo en la planta *Arabidopsis thaliana*, que ha sido elegida como modelo experimental por los biólogos moleculares vegetales (ver recuadro 'Arabidopsis thaliana, el modelo vegetal').

El primer paso de este tipo de estudios suele ser determinar qué factor ambiental altera la expresión de un determinado gen. Los genes que codifican la síntesis de los factores de transcripción normalmente se expresan en niveles muy bajos, y una pequeña cantidad de su producto proteico es suficiente para desencadenar una respuesta importante. Cuando un gen está involucrado en la adaptación de las plantas a algún factor externo, ya sea biótico o abiótico, su expresión suele cambiar notoriamente. Como la regulación de la expresión génica en organismos eucariotas, incluyendo las plantas, tiene lugar durante la transcripción de la información génica (ver recuadro 'La expresión génica' y figura 2), el primer paso para observarla es detectar la cantidad de un determi-

nado ARN mensajero que se expresa en condiciones de control en comparación con la que se expresa en presencia del factor externo cuyo efecto se está estudiando. De esta manera se puede constatar qué efectos se producen en la expresión del gen bajo estudio. Si no hay cambios, es poco probable que ese gen participe en la respuesta. Si la expresión del gen aumenta o disminuye es probable que el gen participe en la respuesta. Sin embargo, esto no es condición suficiente para postular que el gen está directamente involucrado ya que su efecto podría ejercerse a través de otro mecanismo. Ejemplos de esto serían la activación de genes que dan lugar a la degradación de proteínas superfluas para producir el ahorro de energía necesario para afrontar la condición ambiental adversa.

Se sabe actualmente que la expresión de varios de los genes que codifican proteínas del tipo HD-Zip está afectada por factores bióticos o abióticos. Como ejemplo cabe mencionar al gen HAT4 (también llamado Athb-2), cuya expresión depende de las condiciones de iluminación, y los genes, como Athb-6, Athb-7 y Athb-12 de *Arabidopsis thaliana* y Hahb-4 de girasol, que aumentan considerablemente su expresión cuando no hay suficiente disponibilidad de agua o en presencia de ácido abscísico, hormona que está relacionada con la respuesta de las plantas a la sequía.

El HAT4 fue el primer gen de la familia HD-Zip cuya función fue estudiada en cierto detalle en *Arabidopsis thaliana*. La sobreexpresión de este gen produce alteraciones en el desarrollo y en la velocidad de crecimiento de las plantas las que, en comparación con las no modificadas, se hacen más altas, se desarrollan más rápidamente y tienen un número menor de hojas más pequeñas. Además, las plantas modificadas no germinan bien en la oscuridad y cuando se hacen crecer en presencia de luz muestran en sus hojas un color verde más oscuro que el de las plantas no transformadas.

Estas observaciones llevaron a la conclusión de que HAT4 tendría un papel en la regulación del desarrollo de *Arabidopsis* como respuesta a las condiciones de iluminación, pues ocasionaría la elongación del hipocotilo (esto es, la parte del tallo de una planta embrionaria que se ubica debajo de los cotiledones e inmediatamente arriba de la raíz) e inhibiría la expansión de las células de las hojas. Es importante recordar que estos efectos son similares a los que se observan cuando una planta no modificada se hace crecer en la oscuridad. Estos hallazgos fueron confirmados en estudios independientes de otros investigadores. En el curso de sus estudios, estos encontraron además que la expresión del gen en plantas que crecen en medios con luz roja aumenta mientras que disminuye en presencia de cualquier otro tipo de luz o en oscuridad. Es posible por lo tanto que el gen HAT4 de *Arabidopsis thaliana* medie el efecto de la luz en determinados procesos ya que se sabe que las condiciones de iluminación alteran marcadamente el desarrollo de las plantas. Esto se ve en particular en el proceso que permi-

te que plantas que crecen a la sombra de otras aumenten en altura para lograr así captar la luz solar.

En trabajos posteriores se describió la obtención de plantas transgénicas que sobreexpresan otros genes HD-Zip. Por ejemplo la sobreexpresión de *Athb-7* produce cambios en el aspecto de las plantas que no tienen incidencia en la respuesta adaptativa. Un caso interesante y distinto de los anteriores es el de un gen de girasol, planta distante evolutivamente de *Arabidopsis*. Este gen produce un notorio incremento de la tolerancia a la sequía (figura 4).

Cabe preguntarse cómo la sobreexpresión de este gen en plantas genera tolerancia a la sequía. Aparentemente, ninguno de los cambios mencionados más arriba (cierre de estomas, producción de proteínas de defensa ante el estrés) se produce en estas plantas transgénicas. La respuesta, entonces, parece ser que el gen actúa cambiando procesos de desarrollo de forma de producir plantas mejor adaptadas a la condición adversa. Las plantas de *Arabidopsis thaliana* transformadas de forma tal que expresen el mencionado gen del girasol son más compactas y poseen hojas más pequeñas, lo que les permitiría sobrevivir con menores cantidades de agua. La otra característica llamativa de estas plantas transgénicas es que en condiciones en las que el agua escasea crecen más lentamente, desarrollan hojas más pequeñas y tallos más cortos. Esto también se observa como respuesta a la carencia de agua en las plantas normales, pero en menor medida y más tardíamente.

Cuando se les agrega agua a las plantas que contienen el gen del girasol que las adapta a la sequía, se acelera su crecimiento y se alcanza el tamaño de una planta control que no ha sufrido estrés. La producción de semillas de la planta transformada es igual a la de la planta control. Ninguna de las etapas fundamentales del desarrollo se ve afectada seria o irreversiblemente. Simplemente, al carecer de agua la planta frena su desarrollo hasta que la situación mejore. La función del gen es entonces proteger la planta de la situación adversa. El mecanismo molecular por el cual esto se produce es desconocido hasta ahora. Es posible sin embargo postular que un grupo importante



Figura 4. Un ejemplo de respuesta adaptativa generada por la expresión de un único gen que codifica la síntesis de un factor de transcripción de girasol. Plantas de *Arabidopsis thaliana* fueron sometidas a un fuerte estrés hídrico por reducción del suministro de agua. Cuando las consecuencias se hicieron claramente visibles en la pérdida de turgencia en sus hojas y tallos, las plantas se regaron nuevamente. Al cabo de dos días se observaron las diferencias entre aquellas plantas a las que se les ha incorporado el gen de girasol (parte inferior) y las no transformadas (parte superior) utilizadas como control.

de genes es activado y otro inhibido para generar tales cambios. Uno de los desafíos del presente y el futuro es dilucidar cuáles son estos genes y qué función cumple cada uno de ellos.

Es obvio que el conocimiento de las vías de transducción de señales en que interviene este gen de girasol, así como de la función de otros miembros de esta familia, tendrá en un futuro no muy lejano aplicaciones biotecnológicas importantes. Contar con especies agronómicas resistentes a la sequía, a condiciones de alta salinidad del suelo o a un agente patógeno puede ser la clave para resolver problemas fundamentales de producción en regiones donde otro tipo de soluciones no es viable.

Agradecimientos

Queremos agradecer a los organismos e instituciones que han financiado las actividades de investigación sobre genes involucrados en el desarrollo vegetal y la respuesta adaptativa al medio ambiente: Fundación Antorchas, Conicet, ANPCYT, Universidad Nacional del Litoral.

LECTURAS SUGERIDAS

CHAN RL, GAGO GM, PALENA CM & GONZALEZ DH, 1998, 'Homeoboxes in plant development', *Biochim. Biophys. Acta*, 1442: 1-19.

LODISH H, BERK A, ZIPURSKY SL, MATSUDAIRA P, BALTIMORE D & DARNELL J, 2002, *Biología celular y molecular*, 4ª ed., Médica Panamericana, Buenos Aires.

SCHENA M & DAVIS RW, 1992, 'HD-Zip proteins: Members of an Arabidopsis homeodomain protein superfamily', *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 89: 3894-3898.

SCHENA M, LLOYD AM & DAVIS RW, 1993, 'The HAT4 gene of Arabidopsis encodes a developmental regulator', *Genes Dev.*, 7: 367-379.

Aplicación aérea de insecticida sobre un cultivo de soja. Foto Ken Hammond, Wikimedia Commons.



Alejandro MentaberryInstituto de Ingeniería Genética y Biología
Molecular (INGEBI) - Conicet, Facultad de Ciencias
Exactas y Naturales, UBA

La revolución genética y la agricultura

Signos de crisis

La agricultura moderna es la actividad humana con mayor impacto sobre el ambiente a escala global. La progresiva ampliación de las fronteras agrícolas, las que están alcanzando los límites prácticos de la superficie cultivable, y la continua degradación de suelos y napas acuíferas, constituyen manifestaciones claras de la intensidad de este proceso. Paralelamente, las inadecuadas prácticas de explotación utilizadas en las regiones menos desarrolladas están conduciendo a la paulatina deforestación y desertificación de vastas regiones del planeta. Estos procesos se suman a otras actividades humanas para provocar una creciente inestabilidad del clima, lo que, al incidir negativamente en la propia agricultura, genera un círculo vicioso que realimenta la crisis.

En los últimos veinte años, la humanidad ha debido enfrentarse al hecho de que los recursos globales tales como la tierra, el agua y el aire, hasta entonces considerados inagotables, son en realidad finitos, y que la única forma de preservarlos (y de asegurar la propia supervivencia de la humanidad) es desarrollar formas autosustentables de producción.

La dilapidación de recursos por parte de los países centrales ha contribuido en gran medida a esta situación, la que se ha ido potenciando continuamente por el incontrolado crecimiento demográfico y la acelerada expansión de la pobreza en los países periféricos. La población mundial se duplicará dentro de los próximos

veinticinco años, lo que señala que la necesidad de encarar y de dar solución a los problemas mencionados se torna día a día más urgente. La solución debe tener en cuenta que, aunque fuera teóricamente posible utilizar las tecnologías agrícolas disponibles hoy en día para abastecer de alimentos a la creciente población mundial, el problema persistiría ya que lo que está en juego no es la cantidad de alimentos producidos, sino su distribución y el impacto ambiental global de los procesos de producción. Con toda probabilidad, las crisis alimentarias ocurrirán en los países más atrasados, en los que la combinación de pobreza, elevado crecimiento demográfico, falta de recursos tecnológicos y económicos y trabas político-culturales está sembrando las condiciones para la aparición de crisis potencialmente explosivas. Suponer que los productores de los países ricos invertirán sus recursos y esfuerzos para solucionar esta situación es por lo menos una actitud irreal. Por otra parte, la aplicación indefinida de determinados instrumentos de la Revolución Verde como los agroquímicos, los pesticidas y la roturación intensiva a la escala de los países más pobres, implicaría un alto riesgo de degradación de muchos ecosistemas, lo que podría resultar en daños irreparables. La humanidad se enfrenta pues al doble desafío de incrementar enormemente el rendimiento de la producción agrícola y de encontrar, al mismo tiempo, una forma más armoniosa de convivencia con la naturaleza. Debido a la compleja interacción de factores económicos, sociales y tecnológicos implicados, este desafío no



puede encararse unilateralmente ni reducirse a un análisis simplista de tipo tecnocrático.

Las promesas y las limitaciones de la biotecnología

La biotecnología no es una solución mágica. No cambiará por sí sola el desenlace de los procesos descritos, cuya solución responde principalmente a decisiones económicas y políticas. Pero es igualmente cierto que estas decisiones, aun siendo las más apropiadas y justas, no podrán dar salida a la crisis sin la ayuda de un mayor conocimiento científico y de la tecnología que derive de él.

La agrobiotecnología moderna es una etapa más del largo y continuo proceso de mejoramiento de especies vegetales y animales que se inició hace unos diez mil años, cuando grupos humanos del Neolítico comenzaron a domesticar vegetales y animales. Es previsible que durante un período inicial más o menos prolongado, las técnicas y los enfoques de la agrobiotecnología moderna se complementaran con las de la producción agrícola convencional. Por lo tanto, la revolución genética en la agricultura no debe considerarse como una ruptura abrupta sino como una gradual sustitución tecnológica que adquirirá formas específicas de acuerdo con las características y el grado de desarrollo de los distintos

sistemas agrícolas. Ella generará cambios profundos en los procedimientos de manejo agrícola y en la integración de la agricultura con diversas ramas de la industria, lo que exigirá una mayor educación tecnológica de los propios productores. En definitiva, se abrirá paso un tipo de agricultura en la que el conocimiento científico y la integración de habilidades multidisciplinares serán las notas distintivas. No cabe duda de que, sea cual sea su ámbito geográfico y los ritmos de su desarrollo, este proceso está llamado a producir una revolución de profundas consecuencias económicas y sociales.

En este contexto, la aplicación de la biotecnología contemporánea a la agricultura ha despertado muchas expectativas porque permitirá, entre otras cosas:

- Acelerar el mejoramiento genético convencional.
- Producir importantes aumentos en los rendimientos agrícolas.
- Reducir la aplicación de agroquímicos y pesticidas con la concomitante disminución de costos de producción.
- Introducir cambios en los cultivos que mejoren la calidad de los alimentos derivados de ellos (ver el artículo 'El pan nuestro de cada día', CIENCIA HOY, 62: 35-43).
- Desarrollar variedades aptas para ser cultivadas en tierras semiáridas.
- Disminuir la superficie cultivada como consecuencia de aumentos sustanciales en la productividad.
- Generar valor agregado en un sector limitado hasta hoy a la producción de productos primarios mediante el desarrollo de cultivos especializados.

Para que estas extraordinarias oportunidades puedan ser aprovechadas y tengan un impacto social positivo, se deberán establecer acuerdos internacionales y políticas públicas que consideren los intereses económicos y comerciales de los países menos desarrollados e impidan que el sector agroalimentario mundial sea monopolizado. También las políticas internas de los países atrasados serán factores cruciales para que los beneficios de las nuevas tecnologías se distribuyan equitativamente. Ellas tendrán que encarar temas tales como regulaciones sobre propiedad intelectual que promuevan el desarrollo tecnológico, estímulos a los sistemas nacionales de innovación, políticas científico-tecnológicas de largo plazo y la adecuada asignación de recursos a las instituciones públicas dedicadas a la investigación científica. Lamentablemente, las dificultades y vacilaciones para adoptar decisiones en estos aspectos o, simplemente, la inexistencia de políticas sobre estos asuntos, tan propias de los países periféricos, siguen siendo factores determinantes en la perpetuación de su actual situación.

Contribuciones de la biotecnología con impacto inmediato

Dos enfoques, que implican a su vez la utilización de un gran número de técnicas específicas, tendrán un impacto inmediato importante en la biotecnología agrícola: uno es el uso de *mapas genéticos* (estos, llamados también *mapas de ligamiento*, son diagramas que representan el orden lineal y la distancia que separa a los distintos genes, o partes de estos en cada cromosoma), y de marcadores moleculares (segmentos de ADN con secuencias características) en el mejoramiento convencional. El otro es la obtención de nuevas variedades de cultivos transgénicos (esto es, de plantas en cuyo material genético se ha introducido artificialmente ADN de otro organismo). Un breve comentario sobre cada uno de estos campos permitirá comprender mejor sus perspectivas y contribuciones potenciales.

El *mejoramiento asistido por marcadores moleculares*. La importancia de este conjunto de técnicas radica en que acelera el proceso de mejoramiento convencional, ajustándolo a los ritmos de la creciente demanda de alimentos. El mejoramiento convencional hace uso de técnicas de cruzamiento sexual que aprovechan la variabilidad genética ya existente en los distintos cultivos y en las especies compatibles con ellos. Luego de cada ciclo de cruzamiento, el personal técnico encargado de obtener la variedad mejorada (los *mejoradores*) selecciona individuos con las características deseables y repite el cruzamiento hasta lograr la introducción de los genes de interés sin afectar la calidad agronómica de las variedades originales. Esto generalmente implica un considerable proceso de cruzamiento entre las variedades nuevas y las anteriores (*retrocruzamiento*). La realización de mapas genéticos de varios cultivos importantes ha permitido definir conjuntos de marcadores moleculares en los principales cultivos bajo la forma de *mapas de alta densidad* (es decir que contienen la ubicación de numerosos marcadores cercanos entre sí a lo largo del ADN de los cromosomas). Uno o más de estos marcadores pueden estar específicamente asociados con una característica de interés y pueden ser identificados en las progenies por métodos analíticos relativamente sencillos. Este análisis permite reconocer rápidamente luego de un cruzamiento a aquellos individuos que contienen el carácter genético que se desea introducir y que preservan simultáneamente el mayor porcentaje del fondo genético original. Dado que la presencia del marcador molecular puede detectarse en cualquier etapa del desarrollo de la planta, los mejores candidatos para el siguiente cruzamiento pueden identificarse tempranamente lo que permite trabajar con menor número de individuos acortando la duración y disminuyendo el número de los ciclos de mejoramiento. Así, la utilización de marcadores moleculares representa una suerte de 'atajo' que hace más preciso y mejor

orientado el trabajo del mejorador y elimina en parte la componente de azar propio del proceso de cruzamiento. En la medida en que aumente el número de marcadores moleculares disponibles, este proceso se hará más efectivo. Existen procedimientos que permiten asociar los marcadores moleculares con características originadas en la expresión simultánea de varios genes (figura 1) lo que ha permitido extender su uso a la selección de caracteres dependientes de muchos genes.

Transgénesis vegetal. Las tasas de crecimiento productivo obtenido con el procedimiento corriente de mejoramiento genético mediante cruzamiento sexual están decreciendo paulatinamente. Esto se debe a que la 'base genética' para el mejoramiento está formada por el conjunto de variedades alternativas de un mismo gen (*alelos génicos*). En muchos cultivos el número de alelos disponibles es escaso. Aunque en teoría esta base genética puede ampliarse por incorporación de nuevo germoplasma, los tiempos que ello demandaría no se corresponden con la premura en incrementar los rendimientos. Las técnicas de ingeniería genética, al permitir la transferencia de genes superando las barreras entre especies, han ampliado en forma prácticamente ilimitada el repertorio de genes disponibles para el mejoramiento. La transgénesis representa un cambio radical respecto del cruzamiento tradicional, ya que se apoya en el conocimiento previo de los genes a introducir (y de sus productos funcionales) y en la predicibilidad de los efectos que se procuran obtener. De esta forma, mientras las variedades obtenidas por cruzamiento sexual contienen combinaciones de genes que en su mayor parte están indeterminadas, las plantas transgénicas solo difieren de sus parentales en un número determinado y conocido de genes. El avance de los proyectos genómicos está arrojando una enorme cantidad de información sobre las funciones de un número creciente de genes y profundiza continuamente las posibilidades de intervención de esta poderosa tecnología.



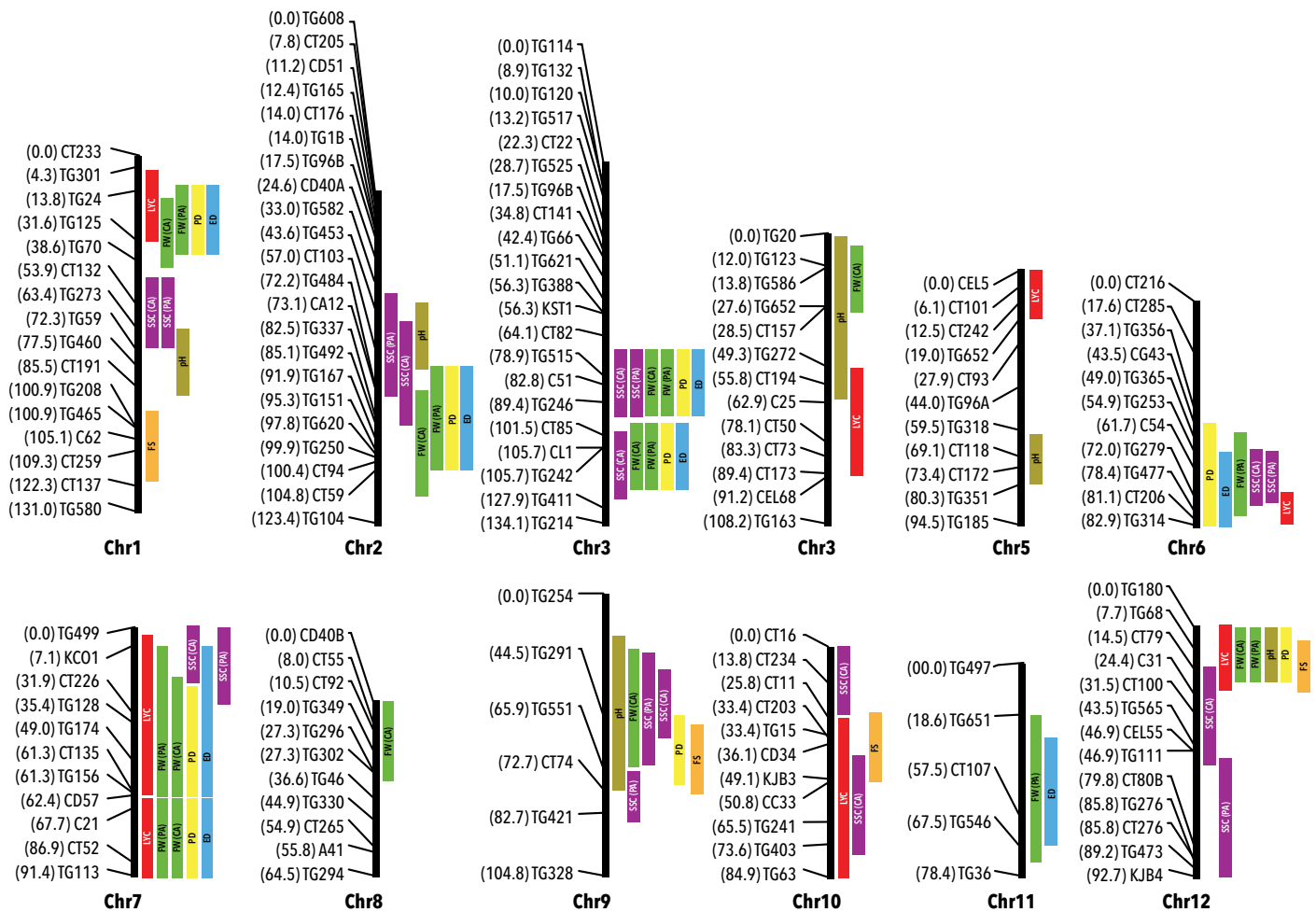


Figura 1. Uso de marcadores moleculares (segmentos de ADN con secuencias características) para el mejoramiento del tomate. Se muestra un mapa de ligamiento entre marcadores moleculares del tipo llamado RFLP y determinadas características del fruto para un cruzamiento entre las variedades llamadas *Lycopersicon esculentum* y *L. pimpinellifolium* (el mapa ubica los marcadores y las características en secuencia lineal a lo largo del ADN de cada cromosoma). Las barras verticales indican los doce cromosomas del tomate; las cajas vinculadas a cada barra señalan características asociadas a cada región de la secuencia lineal del genoma. Cada marcador molecular se identifica con una sigla; los números entre paréntesis indican su posición relativa en el ADN del cromosoma. Determinados grupos de marcadores moleculares se asocian con características fenotípicas (esto es, característica observable en el organismo) específicas indicando que se encuentran en una zona del ADN cercana a la ocupada por el o los genes que determinan esta característica (es decir, la distancia genética entre marcador y genes es pequeña). Durante el cruzamiento, los cromosomas de ambos progenitores sufren un proceso de recombinación genética que determina que los marcadores moleculares (y junto a ellos las características asociadas) se distribuyan al azar en el material genético de los descendientes. Utilizando esta información, el experto mejorador puede saber en qué individuos persiste el carácter que interesa incorporar y, al mismo tiempo, qué porcentaje del fondo genético de cada uno de los progenitores ha sido retenido. Como generalmente interesa introducir un único o muy pocos genes sin modificar el fondo genético original (el que ya tiene valor agronómico), el uso de marcadores permite acelerar notablemente el proceso de selección.

Las cajas verticales indican: **LYC:** concentración de licopenos; **FW:** peso del fruto; **PD:** diámetro polar; **ED:** diámetro ecuatorial; **SSC:** sólidos solubles totales; **pH:** pH; **FS:** forma del fruto. (Tomado de Chen *et al.*, *Molecular Breeding*, 5: 283-299, 1999.)

La técnica de transformación genética que más se ha empleado es la basada en la utilización de *Agrobacterium tumefaciens*, una bacteria del suelo que infecta a numerosas especies de plantas y que dispone de un dispositivo natural que le permite transferir genes desde ella a las plantas. Los componentes moleculares de este dispositivo han sido estudiados con gran detalle, lo que ha permitido adaptarlo a las necesidades de la ingeniería genética eliminando todos los factores relacionados con los efectos patogénicos de la bacteria. *Agrobacterium tumefaciens* permite introducir genes en cualquier cromosoma de la planta que los recibe, tanto en plantas dicotiledóneas como monocotiledóneas.

El uso del *Agrobacterium tumefaciens* para introducir genes en gramíneas tuvo dificultades iniciales que dieron lugar al desarrollo de métodos basados en el bombardeo con micropartículas. En esta técnica la introducción del material genético se hace mediante el uso de 'cañones genéticos' cuyo disparo es precisamente definido a partir de parámetros físicos (una versión de este procedimiento puede encontrarse en el artículo 'La pistola genética' en *CIENCIA HOY*, 2: 6-9, 1991). Una extensión muy interesante de estos métodos biobalísticos es la transformación de los genomas de las organelas subcelulares (cloroplastos y mitocondrias).

La figura 2 muestra esquemas que sintetizan los dos procedimientos descriptos. La tabla 1 ofrece un listado parcial de los cultivos agrícolas que han sido transformados por una u otra metodología.

Las plantas transgénicas que hoy se comercializan (tabla 2) han sido modificadas mediante la introducción de genes provenientes de otras plantas sexualmente incompatibles con ellas (y por lo tanto no susceptibles a la transferencia por los métodos tradicionales) o de otros organismos (como bacterias u hongos), para incorporar en ellas caracteres que les confieren resistencia a herbicidas, insectos, distintos patógenos y diferentes tipos de estrés ambientales.

Adedul	Cebada	Lechuga	Pea
Achicoria	Ciruelo	Lino	Pepino
Álamo	Clavel	Lupino	Petunia
Alfalfa	Col	Maíz	Pimiento
Algodonero	Coliflor	Mandioca	Remolacha
Arándano	Colza	Maní	Soja
Arroz	Crisantemo	Manzano	Sorgo
Batata	Espárrago	Melón	Tabaco
Belladona	Eucaliptus	Mostaza	Tomate
Brócoli	Frutilla	Nabo	Trébol
Calabaza	Girasol	Nuez	Trigo
Cantalupe	Gladiolo	Papa	Vid
Caña de azúcar	Kiwi	Papaya	Zanahoria

Tabla 1. Algunas especies de interés económico que han sido modificadas por ingeniería genética

El nacimiento de la genómica vegetal

En diciembre de 2000 un consorcio internacional conformado por veintiséis laboratorios presentó la secuencia completa del primer genoma vegetal, el correspondiente a *Arabidopsis thaliana*, una pequeña planta de la familia de las Crucíferas (que comprende plantas como repollo, mostaza, entre otras, que se utiliza como sistema modelo en genética vegetal). Esta planta fue seleccionada por el tamaño relativamente pequeño de su genoma (aproximadamente 125 millones de pares de bases), el que contiene una baja proporción de secuencias repetitivas. Los resultados de este trabajo, comparable en escala al realizado con el genoma humano, demostraron que el genoma de *Arabidopsis thaliana* comprende unos 25.000 genes, de los cuales ya se han atribuido funciones a unos 4500. Se ha lanzado ya una nueva iniciativa internacional cuyo propósito es establecer las funciones de todos los genes de este genoma (su detalle puede verse en el sitio <http://www.arabidopsis.org>) y que se propone alcanzar este objetivo hacia 2010. Otro consorcio internacional con fuerte participación de laboratorios públicos japoneses y de compañías privadas estadounidenses ha presentado un estudio preliminar del genoma del arroz y estima que dispondrá de la secuencia genómica de esta planta en los próximos tres años. Un proyecto similar, en este caso en el ámbito de compañías privadas, se está desarrollando para dilucidar la secuencia del genoma del maíz. Otro consorcio, constituido por laboratorios brasileños, encara el estudio de los genes de la caña de azúcar.

Los estudios genómicos comparados han revelado que extensas regiones de los genomas de distintas especies vegetales mantienen la misma distribución relativa

Cultivo	Carácter introducido
Maíz	Tolerancia a glufosinato
Maíz	Tolerancia a glifosato*
Maíz	Tolerancia a sethoxydim
Maíz	Resistencia a insectos*
Maíz	Tolerancia a glufosinato / resistencia a insectos
Maíz	Tolerancia a glifosato / resistencia a insectos
Maíz	Esterilidad masculina
Soja	Tolerancia a glufosinato
Soja	Tolerancia a glifosato*
Soja	Síntesis incrementada de ácido oleico
Algodonero	Tolerancia a sulfonilurea
Algodonero	Tolerancia a glifosato
Algodonero	Tolerancia a glufosinato / resistencia a insectos
Algodonero	Tolerancia a glifosato / resistencia a insectos
Algodonero	Tolerancia a bromoxinil / resistencia a insectos
Algodonero	Resistencia a insectos*
Colza	Tolerancia a glufosinato
Colza	Tolerancia a glifosato
Colza	Síntesis incrementada de ácido láurico
Tomate	Maduración lenta
Tomate	Resistencia a virus
Papa	Resistencia a insectos
Papa	Resistencia a virus
Remolacha	Resistencia a glufosinato
Remolacha	Resistencia a glifosato
Calabaza	Resistencia a virus
Calabaza	Resistencia a glifosato
Clavel	Senescencia retardada
Clavel	Modificación de color
Achicoria	Esterilidad masculina
Papaya	Resistencia a virus

Tabla 2. Cultivos comerciales modificados por ingeniería genética (1999) autorizados en por lo menos un país. Los cultivos marcados con asterisco han sido aprobados para su utilización comercial en la Argentina

Estados Unidos		Argentina		Canadá		China		Otros		Total	
1998	2000	1998	2000	1998	2000	1998	2000	1998	2000	1998	2000
20,5	30,3	4,3	10,0	2,8	3,0	-	0,5	0,2	0,4	27,8	44,2

Tabla 3. Superficie sembrada con cultivos transgénicos (1998 y 2000). Millones de hectáreas en distintos países y total a nivel mundial.

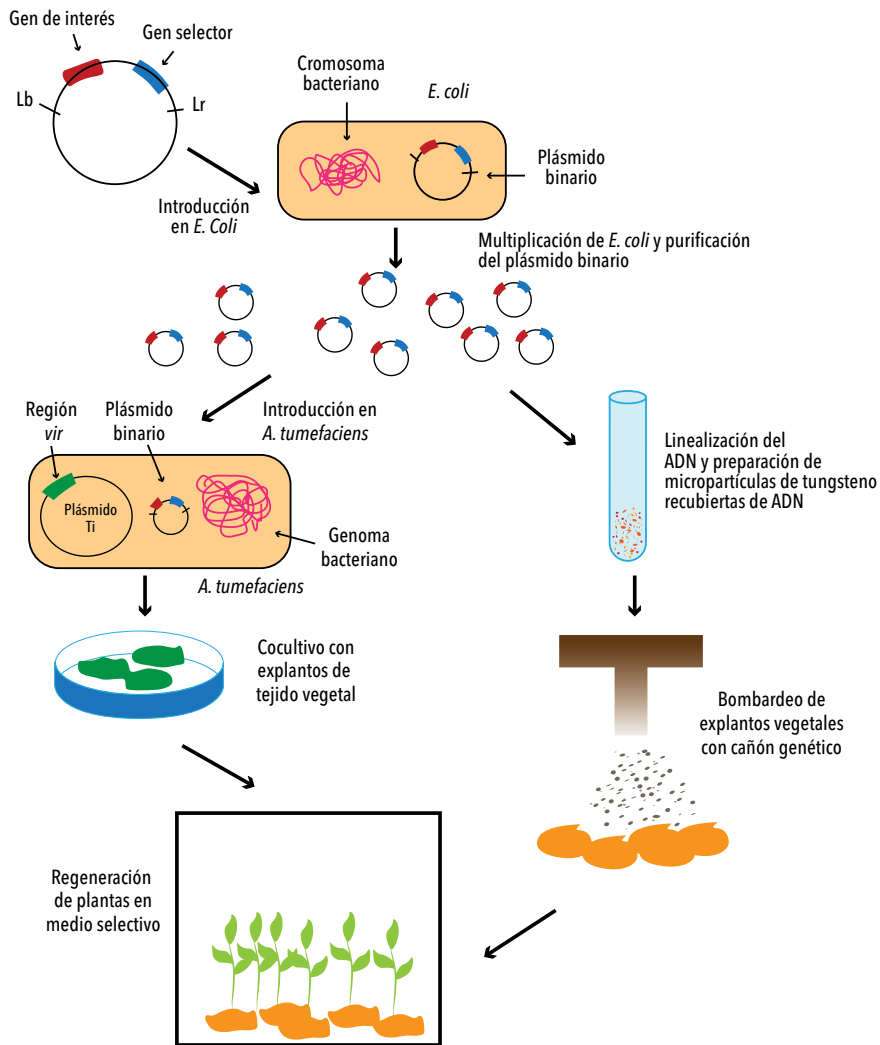


Figura 2. Dos procedimientos distintos de transformación genética. Se esquematizan las etapas comunes y los métodos específicos utilizados para transformar una planta mediante el uso de un vector biológico (*Agrobacterium tumefaciens*) o a través del empleo de un método físico (biolística). Para simplificar, se supone que en ambos procedimientos se está usando como vector a un plásmido (un plásmido es un segmento circular de ADN que puede replicarse independientemente del cromosoma). En el plásmido están indicadas las posiciones del gen que interesa incorporar y del gen selector, que será utilizado para aislar del resto a aquellas células que han incorporado el gen, así como dos cortas secuencias de ADN que son imprescindibles para el proceso de transferencia (secuencias LB y RB). El gen puede incorporarse utilizando *A. tumefaciens*, bacteria que posee naturalmente la capacidad de transferir parte de su material genético a las plantas. La bacteria ha sido extensamente modificada para eliminar los genes que confieren patogenicidad y preservar los componentes esenciales del sistema de transferencia. El gen que se desea introducir en la planta, junto con un gen selector que permite aislar a las células 'transformadas', ha sido clonado en un plásmido vector. El plásmido es amplificado (por multiplicación) y luego introducido en *A. tumefaciens*, que posteriormente se incuban en contacto con trozos de tejido del vegetal a transformar. La bacteria transfiere los genes foráneos a la planta y, mediante un proceso de recombinación, estos se integran en forma aleatoria en un sitio cualquiera del genoma vegetal. Las células se incuban en un medio que contiene un agente selector de modo que las que poseen los transgenes (genes foráneos transferidos a la planta) proliferan mientras que las que no lo contienen mueren. Las células transgénicas pueden ser inducidas a diferenciarse en órganos y luego en plantas enteras mediante una serie de pasajes in vitro utilizando las hormonas vegetales (fitohormonas) adecuadas. Los cañones genéticos son instrumentos que permiten impulsar micropartículas (generalmente de tungsteno u oro) recubiertas del ADN que interesa incorporar a suficiente velocidad como para que adquieran la energía cinética necesaria para penetrar el tejido vegetal. Algunas de los millones de micropartículas disparadas penetran en el núcleo celular y algunos de los millones de moléculas de ADN depositadas sobre una partícula se recombinan aleatoriamente con el material genético de la planta integrándose establemente en el mismo. Las plantas transgénicas se rescatan utilizando pasos similares a los descritos en el caso anterior. La biolística puede utilizarse también para transformar los genomas de las organelas vegetales, como los cloroplastos y las mitocondrias. Los procedimientos para la regeneración de plantas son similares a los seguidos en la transformación con *Agrobacterium*.

de grandes conjuntos de genes en un dado cromosoma (sintenia). De esta forma, los proyectos mencionados permitirán confeccionar mapas genéticos detallados de estas plantas y extrapolar los resultados a cultivos relacionados. Los estudios de genética funcional, basados en el uso de microordenamientos de ADN (figura 3) que utilizan extensamente métodos robóticos e informáticos están permitiendo extraer ya una valiosa información sobre los conjuntos de genes implicados en procesos tales como las respuestas defensivas ante distintos patógenos, las respuestas a diferentes estímulos ambientales y la regulación de rutas metabólicas específicas. En forma similar a lo que ocurrirá con la medicina, los proyectos genómicos vegetales cambiarán la percepción de muchos fenómenos básicos de la biología de las plantas y tendrán una repercusión inmensa en la agricultura.

Las plantas transgénicas en la agricultura

En 1996, se liberaron al comercio los primeros cultivos transgénicos. A principios de 1999, 56 cultivos de este tipo habían sido autorizados para su comercialización a escala mundial. La superficie sembrada con cultivos transgénicos se ha ido incrementando hasta alcanzar 44,2 millones de hectáreas a fines de 2000 (tabla 3). Estas plantas fueron modificadas introduciendo un número muy pequeño de genes con el propósito de incrementar los rendimientos confiriéndoles resistencia a herbicidas, a insectos y a otros patógenos vegetales (ver recuadro "Tres tipos de plantas transgénicas de uso comercial"). Las primeras estimaciones hechas en Estados Unidos muestran significativos beneficios económicos para los productores, tanto por el descenso de costos cuanto por el aumento del rendimiento (tabla 4). Los cultivos transgénicos han introducido también beneficios apreciables en el tratamiento de los agrosistemas, pues han disminuido la necesidad de la aplicación de insecticidas y han extendido la utilización de métodos de labranza que implican menor roturación del suelo. En el caso de las plantas hechas resistentes a herbicidas, la utilización de agroquímicos ha disminuido en un porcentaje menor y el mayor bene-

ficio ha sido permitir la introducción de herbicidas que solo persisten durante un corto tiempo en el ambiente, tales como glifosatos y glufosinatos. En promedio, los incrementos de productividad fueron estimados entre el 10 y el 15%.

Los principales cultivos que han sido sometidos a modificación mediante ingeniería genética son el maíz, la soja y el algodón. Otros, también importantes, como la papa, el arroz, el tomate, la calabaza y la papaya, han dado también lugar a desarrollos comerciales. Además de los cultivos que ya se comercializan, existen, solamente en los Estados Unidos, entre 30 y 40 aplicaciones adicionales que se hallan en distintos grados de desarrollo. Ello sugiere que en el futuro próximo la adopción de las nuevas tecnologías continuará a un ritmo creciente.

La segunda ola: alimentos mejorados, nutraceuticos y molecular farming

Las plantas transgénicas introducidas hasta ahora fueron modificadas para aumentar el rendimiento de sus cultivos y, por ende, sus beneficios han sido capitalizados principalmente por los productores. La siguiente generación de productos transgénicos, que se halla actualmente en etapa de desarrollo, estará orientada a explotar otros nichos económicos y promete beneficios más directos para los consumidores. En términos generales, estos nuevos cultivos pertenecen a dos categorías: los que han sido modificados para mejorar o complementar su calidad alimentaria y aquellos modificados para producir compuestos con diversos fines industriales.

Ejemplos de modificaciones para mejorar el valor nutritivo de las plantas son aquellas que optimizan el balance de aminoácidos esenciales (esto es, aminoácidos que deben ser provistos por la dieta porque el organismo es incapaz de sintetizarlos) o la composición de determinados micronutrientes, por ejemplo, la concentración de hierro y también la implantación de rutas biosintéticas que no están normalmente presentes con la finalidad de que este produzca factores nutritivos no proteicos como vitaminas A o E (figura 5). Las modificaciones con la finalidad de producir determinadas sustancias incluye las alteraciones de las rutas del metabolismo primario para producir lípidos o carbohidratos de estructuras especiales, destinados a aplicaciones industriales o alimentarias específicas (por ejemplo, aceites con distintas composiciones de ácidos grasos o almidones de distinta composición —nutraceuticos,

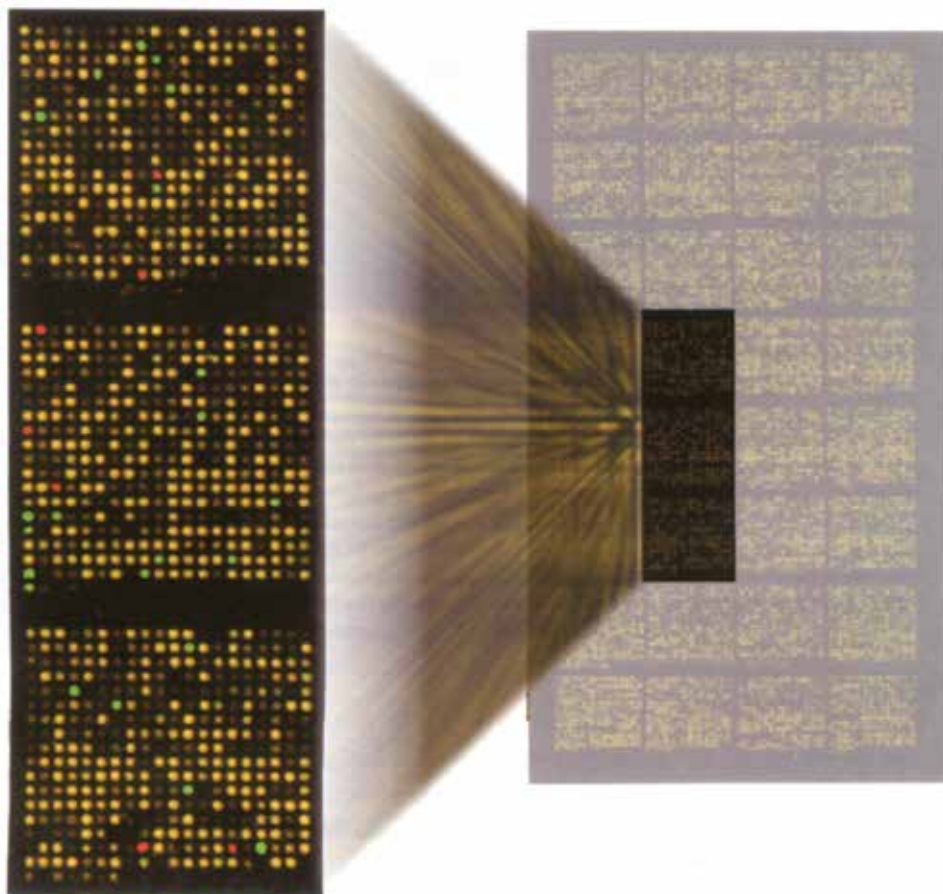


Figura 3. Microordenamientos de ADN. Los microordenamientos (microarreglos) son soportes sólidos sobre los que se han fijado pequeñas cantidades de ADN cuya secuencia es específica para un gen distinto de modo que cada punto en el microordenamiento corresponde a un gen determinado. La información genética es copiada en el núcleo celular en forma de ARN mensajero (ARNm) y transferida luego a los ribosomas, partículas citoplásmicas en las que tiene lugar la síntesis de proteínas. Para establecer qué genes se 'encienden' (es decir, inician o aceleran la síntesis de la proteína que codifican) ante cierta respuesta biológica o situación metabólica, los microordenamientos de ADN se hibridan (esto es, se aparean a través de bases complementarias) (véase 'Las sondas de ácidos nucleicos' en CIENCIA HOY, 4: 46-51, 1992) en forma simultánea con dos colecciones de ARNm obtenidas del mismo organismo, una en ausencia y otra en presencia del estímulo. Estas dos poblaciones de ARNm están unidas a dos sustancias fluorescentes distintas (fluoróforos). El ARNm hibridado (cuya secuencia es complementaria a la secuencia de los genes) se visualiza bajo un microscopio por su emisión fluorescente. De acuerdo con las relaciones entre los dos tipos de emisión fluorescente, puede determinarse si un determinado ARNm se ha transcrito más o menos o si el nivel de su transcripción no se ha modificado. Ello permite establecer qué genes están involucrados en cada situación experimental. En la figura se muestra un microordenamiento conteniendo las secuencias de 11.500 genes que ha sido hibridado con poblaciones de ARNm de plantas de *Arabidopsis thaliana* obtenidas antes (fluorescencia verde) y después (fluorescencia roja) del ataque del hongo *Erysiphe cichoracearum*. Las flechas señalan a los genes que se han expresado en respuesta al patógeno. Un punto rojo (flechas) significa 'expresión incrementada', un punto amarillo 'igual expresión', uno verde 'expresión disminuida' y uno negro 'ausencia de expresión'. La imagen muestra que unos setenta genes han variado su nivel de expresión luego del ataque del patógeno. Esta información será usada luego para comprender los mecanismos de defensa involucrados. El análisis se realiza mediante computadoras que identifican los genes candidatos y proveen toda la información disponible sobre los mismos. El microordenamiento ha sido impreso en vidrio cuyo tamaño real es de 22 x 40mm. El inserto muestra una ampliación de tres bloques del microordenamiento conteniendo 360 genes cada uno. Foto S. Somerville y K. Ramonell.

	Rendimiento	Efectos en el uso de pesticidas	Ganancias
Soja tolerante a herbicidas	Incremento	Descenso	Incremento
Algodonero tolerante a herbicidas	Sin cambio	Descenso	Sin cambio
Maíz tolerante a herbicidas	Incremento	Descenso	Sin cambio
Algodonero resistente a insectos	Incremento	Descenso	Incremento
Maíz resistente a insectos	Incremento	Descenso	Incremento

Tabla 4. Utilización de herbicidas y pesticidas en cultivos transgénicos*

* Datos compilados sobre trece estudios de campo. Adaptado de Fernández-Cornejo J & McBride W. *Genetically Engineered Crops for Pest Management in U.S. Agriculture. Farm-level Effects*, Economic Research Service USDA. <http://www.ers.usda.gov/epubs/pdf/aer786/aer786rf.pdf>

TRES TIPOS DE PLANTAS TRANSGÉNICAS DE USO COMERCIAL

* **Plantas resistentes a herbicidas.** Aunque se han desarrollado estrategias de resistencia a varios tipos de herbicidas, la mayor parte de las semillas que hoy se comercializan son resistentes a glifosato y glufosinato, dos herbicidas posemergentes (herbicidas que se aplican luego de que la plántula emerge de la tierra) de amplio espectro y de baja persistencia en el medio ambiente. Ambos compuestos actúan sobre las rutas de síntesis de aminoácidos. El glifosato es un inhibidor competitivo de la enzima 5-enol piruvil shikimato-3-fosfato sintasa, que participa de la síntesis de aminoácidos aromáticos, los que son esenciales para la síntesis de numerosas proteínas. La enzima se halla presente en plantas y microorganismos, pero no en los animales. La resistencia a glifosato se obtiene introduciendo en la planta un gen ligeramente diferente obtenido de la bacteria *A. tumefaciens*, el que codifica una versión de esta enzima insensible al herbicida. Algunos cultivos contienen también un gen de la enzima glifosato oxidorreductasa obtenido de la bacteria *Achromobacter*, la que contribuye a degradar el herbicida. El glufosinato es un inhibidor competitivo de la enzima glutamina sintetasa, la que desempeña un papel crucial en el metabolismo del amoníaco. La resistencia se obtiene introduciendo en la planta el gen de la enzima fosfinotricin acetil transferasa obtenido de las bacterias del suelo *Streptomyces hygroscopicus* o *S. viridochromogenes*. Dicha enzima conjuga un grupo acetilo a la molécula del herbicida, promoviendo así su degradación por el sistema de detoxificación de la planta.

* **Plantas resistentes a insectos.** Las plantas resistentes a insectos han sido modificadas para expresar endotoxinas de naturaleza proteica obtenidas de distintas cepas de *Bacillus turingiensis* y *B. tenebrionis*, las que poseen especificidad para distintos géneros de insectos pero son inocuas para el hombre y animales superiores. Los insecticidas basados en estas toxinas vienen siendo utilizados en la agricultura desde hace unos cuarenta años sin resultados indeseables y son recomendados oficialmente en la agricultura 'orgánica'. Se han descrito más de cien genes 'Bt', pero solo se han utilizado cuatro a cinco de ellos (de acción selectiva para lepidópteros y coleópteros)

neologismo derivado de nutrición y farmacéutico—). Algo similar se está realizando mediante la modificación de las rutas del metabolismo secundario, ejemplos de esto son la alteración de las rutas de síntesis de la lignina (el polímero que al combinarse con la celulosa da rigidez a la madera) para obtener distintas calidades de madera en los árboles, o la alteración de la síntesis de determinados pigmentos para desarrollar nuevas especies con fines ornamentales. Finalmente, la ingeniería genética ha abierto la posibilidad de utilizar las plantas para producir moléculas (molecular farming, producción de moléculas en la granja) de uso industrial que antes debían extraerse de otros organismos u obtenerse mediante fermentación microbiana, esto incluye la producción de sustancias de interés farma-

en la modificación de plantas comerciales. Para ejercer su acción, la toxina se debe activar en las condiciones propias del tracto digestivo del insecto y reconocer receptores específicos situados en las células del epitelio intestinal. En los cultivos transgénicos la toxina se produce en los cultivos que son blancos de la acción de los insectos, como médula del tallo, hojas y polen, mientras que la producción en las partes comestibles tiene niveles no significativos.

* **Plantas resistentes a virus.** Las plantas transgénicas comercializadas hasta ahora proveen resistencia a virus a ARN de cadena positiva. Este tipo abarca aproximadamente el 80% de los virus descritos en plantas. Para generar la resistencia se utilizan dos estrategias principales, una es la denominada *resistencia mediada por la cápside* (la cápside es la cubierta del virus y está formada por proteínas) y la otra es la llamada *resistencia mediada por homología de ARN*. En el primer caso, se introduce en la planta el gen de la cápside viral del virus que se desea inhibir. La presencia de dicha proteína en la planta interfiere en el ciclo replicativo del virus homólogo, o de otros cercanamente emparentados, e impide su replicación. Debe enfatizarse que los virus vegetales no pueden replicarse en sistemas animales o microbianos y que, dada su presencia ubicua, son ingeridos normalmente con los alimentos, por lo que las plantas transgénicas modificadas para que expresen proteínas de las cápsides no ofrecen riesgos adicionales respecto de las no transgénicas. En el caso de la segunda estrategia, no se requiere la producción de proteína alguna, sino solamente la transcripción de una secuencia de ARN idéntica a la del genoma viral. La producción de este ARN en determinadas condiciones desencadena el fenómeno llamado de *silenciamiento génico*, este es un mecanismo naturalmente presente en las plantas y en otros organismos que presumiblemente sirve para impedir las invasiones de genomas foráneos. Cuando este mecanismo de defensa se activa, tanto el ARN transgénico como todo otro ARN homólogo (en este caso el viral) es degradado en el citoplasma celular. Esta estrategia de protección reproduce así en forma más temprana y efectiva un proceso que normalmente ocurre cuando una planta es infectada por un virus.

cológico, de anticuerpos o de biopolímeros plásticos. La enorme diversidad de nichos productivos que generarán estas innovaciones creará una extensa y ramificada interfase entre la agricultura y muchas ramas de la industria y proporcionará valor agregado adicional a la producción agraria modificando la relación de los productores con el mercado al dar lugar a contratos específicos para producir cultivos ‘especiales’. Se producirá así la transición desde una agricultura basada exclusivamente en la producción de productos primarios (*commodities*) hacia una agricultura de productos elaborados con fines específicos (*specialities*).

Beneficios y riesgos: disputas en el escenario internacional

Pocas tecnologías en la historia de la humanidad han sido introducidas con marcos regulatorios tan estrictos como la biotecnología moderna. Desde la conferencia de Asilomar (1975), que sentó las normas para el trabajo con organismos recombinantes (esto es, conteniendo ADN producido artificialmente uniendo segmentos de ADN de diferentes organismos), hasta las regulaciones actuales, el proceso ha sido seguido regularmente por la comunidad científica internacional y ha sido motivo de un intenso debate público. Los productos biotecnológicos aplicados a la salud humana y a la animal, incluyendo las vacunas recombinantes, son hoy de uso común y han dado lugar a una nueva industria. La introducción de las nuevas tecnologías en la agricultura sufrió un retraso relativo respecto de otros productos biotecnológicos debido a las estrictas normas de seguridad biológica (bioseguridad) que se adoptaron desde el inicio antes de liberar al medio ambiente organismos modificados por ingeniería genética. La introducción de las primeras plantas comerciales fue precedida de un número singularmente alto de ensayos de campo en condiciones controladas (hasta fines de 1997 se habían realizado unos 25.000 ensayos a escala mundial). Desde entonces, este tipo de pruebas ha continuado incrementándose en forma exponencial. Lo mismo puede decirse de las precauciones tomadas para establecer la aptitud de los nuevos cultivos para el consumo humano en lo que se refiere a la presencia de factores tóxicos o productores de alergia (alergénicos). Millones de personas están consumiendo plantas transgénicas desde hace más de cinco años sin que se haya reportado hasta ahora ningún efecto nocivo. De hecho, no se realizan evaluaciones comparables con los alimentos obtenidos por métodos clásicos u ‘orgánicos’, aun cuando hay casos en que pudiera presumirse que estos involucran mayores riesgos para la salud humana. Tomando el asunto en su conjunto, puede afirmarse que ningún otro tipo de cultivo ha sido sometido a evaluaciones tan rigurosas como los transgénicos.

Las campañas de los grupos ecologistas fundamentalistas, particularmente europeos, sobre los presuntos riesgos inherentes a los nuevos cultivos, no guardan relación alguna con la realidad. Los oponentes de los cultivos transgénicos no esgrimen argumentos de base científica seria, sino que explotan la ignorancia del público suscitando dudas e interrogantes que en muchos casos han sido ya resueltos por años de experimentación. Como ha ocurrido frecuentemente con la introducción de nuevas tecnologías, es relativamente fácil explotar el temor a lo desconocido para promover campañas de desinformación que muchas veces ocultan motivos políticos, económicos o de grupos que se oponen en razón de sus creencias. Los argumentos que se aducen con relación a riesgos tales como el posible desarrollo de ‘supermalezas’ o de bacterias espontáneamente recombinadas ignoran los procesos que gobiernan la evolución biológica y la experiencia de siglos de la propia agricultura.



Figura 4. Maíz transgénico resistente al barrenador. Se muestran cortes de tallos provenientes de plantas transgénicas (arriba) y no transgénicas (abajo). En las plantas transgénicas se ha introducido el gen Cry1A proveniente de *Bacillus thuringiensis*, en forma tal que la proteína insecticida que este codifica se produce en la médula del tallo y en el polen. Se eligieron estos dos tejidos porque, en distintas etapas de su ciclo de vida, el barrenador del tallo (un insecto lepidóptero) se alimenta de ellos. Se muestran los resultados de un experimento en que las plantas se han cultivado en presencia de larvas del insecto en una cantidad varias veces superior a la de las peores situaciones agronómicas. El interior de los tallos de los controles no transgénicos ha sido horadado por las larvas produciendo túneles y graves daños en la planta; en las plantas transgénicas la progresión de las larvas es apenas perceptible y las mismas han muerto por la acción del insecticida ingerido. Foto J. Kiegebush

Las campañas de organizaciones como Greenpeace parecen tener su origen más en la percepción de la posible monopolización del sector agroalimentario por las grandes compañías multinacionales que en los riesgos hipotéticos o reales de la genética molecular, dominio en el que revelan una llamativa ignorancia. Un claro síntoma del doble discurso de algunos grupos ‘ecologistas’ es que, mientras exigen profundizar la investigación sobre los riesgos de los cultivos transgénicos, encabezan la destrucción de los ensayos que se realizan con este mismo fin. Si se aceptara que la política de estos grupos está exclusivamente dirigida hacia la preservación del equilibrio ecológico, lo menos que puede decirse es que, para defender causas justas, han elegido muy malos argumentos. Las

campañas periodísticas sensacionalistas basadas en noticias catastróficas y en supuestas conspiraciones mundiales de corporaciones, gobernantes corruptos y científicos megalómanos se desmoronarán espontáneamente en la medida en que la información objetiva y la realidad vayan desmintiéndolas. Y en ese momento se volverán, como un peligroso bumerán, contra los padres de la criatura.

El otro elemento que enturbia el escenario internacional es la actitud de los gobiernos de la Unión Europea, los que utilizan la preocupación de sus propios ciudadanos por problemas acaecidos en el control alimentario y algunos de los argumentos esgrimidos por sus grupos ambientalistas (en este caso con un tinte más ‘racional’) como excusa para introducir medidas proteccionistas de tipo paraarancelario. Las crecientes dificultades para continuar subsidiando su producción agrícola y el descenso de los precios en términos históricos de las principales producciones explican por qué la Unión Europea intenta congelar la introducción de la revolución agrobiotecnológica. Esto choca con los intereses de los Estados Unidos, cuyas compañías y universidades lideran la introducción de la nueva tecnología y han ingresado ya en la etapa de comercialización. Otros países productores de alimentos, como Canadá, Australia y la Argentina, se alinean con los Estados Unidos. La mayoría de los países pobres, en los que el desarrollo de estas tecnologías podría tener un inmenso impacto potencial en el futuro, no atinan por ahora a expresar sus propios intereses. En cambio, países como China e India, para los cuales la cuestión alimentaria será crucial en el futuro, están desarrollando importantes programas de biotecnología aplicada a la agricultura.

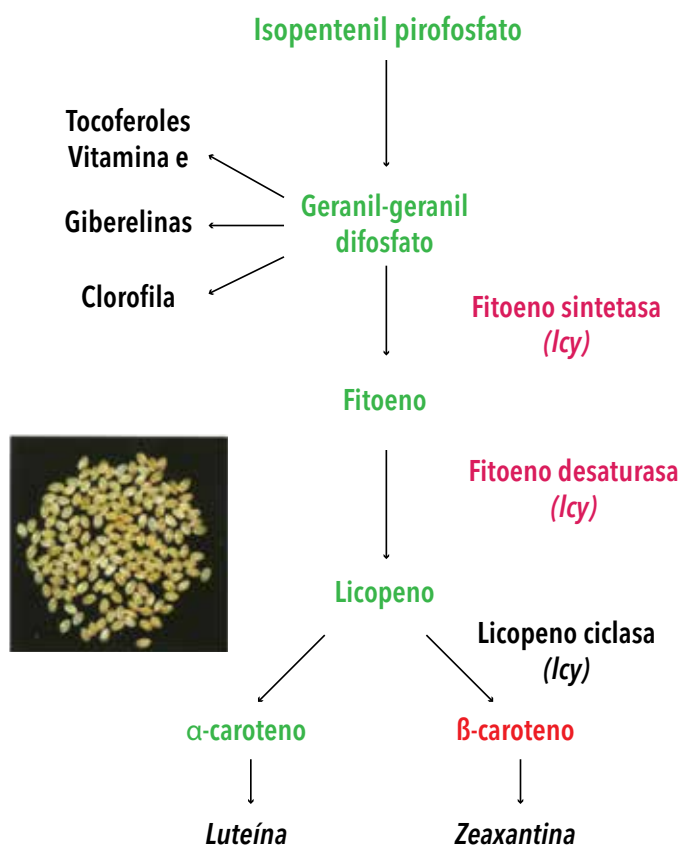


Figura 5. Esquema de las modificaciones genéticas para obtener arroz que produce β carotenos. El arroz es un cultivo que no puede producir naturalmente provitamina A (β caroteno). La carencia de esta vitamina en la dieta de las poblaciones asiáticas es causa de serios problemas de salud, particularmente en la población infantil. Sin embargo, el tejido del grano de arroz produce geranil-geranil difosfato, una sustancia que es precursora de la síntesis de los carotenoides a partir de los cuales se sintetiza la provitamina A. Un grupo del Instituto de Tecnología de Basilea (Suiza) ha introducido en el cultivo los genes de las enzimas fitoeno sintetasa y fitoeno desaturasa obtenidas respectivamente de una especie de *Narcissus* y de la bacteria *Erwinia uredovora*. Ambos genes fueron modificados con secuencias reguladoras que les permiten expresarse exclusivamente en el grano. Las plantas transgénicas fabrican cantidades apreciables de provitamina A, lo cual otorga al grano una apariencia dorada (inserto). Se muestra la ruta de síntesis de los carotenos. Se han remarcado en color magenta las enzimas cuyos genes fueron introducidos en el cultivo. Este cultivo transgénico está actualmente en etapa de desarrollo y será introducido en forma gratuita en los países asiáticos cuando termine de evaluarse su aptitud nutricional. Foto P. Beyer

La Argentina y la agrobiotecnología, ¿actor o agente pasivo?

La Argentina ha ingresado en la nueva revolución agrícola en el tren de los productores de alimentos. Su problemática no está signada por la necesidad de abastecer de alimentos a su propia población, sino por mantener su competitividad como productor en el mercado internacional. Es evidente que para hacerlo en un mercado mundial fuertemente subsidiado, el país debe proceder a una reconversión tecnológica que le permita valorizar sus cadenas agroalimentarias y explotar nichos originales. Para ello, debe apelar no solo a tecnología importada de los países centrales, sino también realizar un importante esfuerzo local por adoptar y crear tecnología propia. Ello implica una inversión sostenida y políticas a largo plazo en campos como la biotecnología vegetal y la tecnología alimentaria. La generación de recursos humanos capacitados en estos campos es una cuestión decisiva y debería ser una meta prioritaria de instituciones como el INTA, el Conicet y las universidades nacionales.

La introducción de cultivos transgénicos en la agricultura argentina se ha incrementado en forma notable en los últimos años. En el caso de la soja, la superficie sembrada con variedades transgénicas ha crecido hasta abarcar más del 80% de la producción total. El maíz y el algodón transgénicos representan porcentajes menores, pero ya ponderables, de los respectivos cultivos. Estas primeras muestras de la nueva tecnología están basadas en investigaciones realizadas fuera del país y responden a las políticas de las grandes compañías semilleras internacionales. Sin embargo, existe en nuestro país una base no despreciable de grupos de investigación calificados en biología y biotecnología vegetal que está en condiciones de realizar contribuciones significativas en estos campos. El principal impedimento para que su potencial se exprese adecuadamente es la carencia de financiación y de políticas públicas imaginativas y debidamente coordinadas en estas áreas. Paradójicamente, mientras el sector agroalimentario sigue siendo una de las principales fuentes de ingreso de divisas, la inversión estatal para modernizar este sector estratégico es prácticamente inexistente. El caso del INTA, que se debate desde hace años en una situación caracterizada por la falta de recursos y de políticas adecuadas, es un ejemplo paradigmático de esto.

Por incapacidad o por ignorancia, las elites políticas y económicas de la Argentina parecen suponer que los cambios tecnológicos llegarán espontáneamente desde afuera, y que lo único que se puede hacer localmente es esperarlos en forma pasiva. Sin duda, este es un camino



seguro hacia la marginación y a la indefensión económica. Otros países latinoamericanos con menor tradición científica que el nuestro, pero con mucha mayor claridad sobre lo que les depara el siglo XXI, están adoptando medidas de largo alcance para estimular su base científico-tecnológica y vienen sosteniendo con éxito políticas en este sector. El estímulo de la investigación y del desarrollo local en agrobiotecnología sigue siendo uno de los muchos deberes pendientes de la Argentina. **CH**

El lector encontrará una definición más amplia de los términos técnicos utilizados en este artículo en el recuadro 'Del ácido nucleico a la proteína', CIENCIA HOY, 62: 40.

Podrá obtener información adicional en los recuadros 'Algunos tecnicismos' CIENCIA HOY, 6:14-15, 1995, y en el 'Glosario' de CIENCIA HOY, 10: 59, 2000.

LECTURAS SUGERIDAS

AAVV, 1999, 'Papers from a National Academy of Sciences Colloquium on Plants and Population: Is there time?', *Proceedings of the National Academy of Science*, 96: 5903-6008.

CASSE F, 2000, 'El maíz y la resistencia a los antibióticos', *Mundo Científico*, 32-36.

CLIVE J, 'Global Review of Commercialized Transgenic Crops: 2000', *ISAAA Briefs*, N° 21, ISAAA, Ithaca, Nueva York.

GARCÍA OLMEDO F, 1998, *La tercera revolución verde*, Temas de Debate, Madrid.

RAMÓN D, 1999, *Los genes que comemos*, Algar, Valencia.

SOCIEDAD ESPAÑOLA DE BIOTECNOLOGÍA, 1997, *Libro verde de la biotecnología en la agricultura*, Madrid.

INTERNET

Documento apoyado por la US National Academy of Science, *Beyond Discovery*: www.nas.edu/beyond/beyonddiscovery.nsf/web/seeds2?/OpenDocument



Elsa L. Camadro

INTA, UNMDP

Cultivos genéticamente modificados: ¿preocuparse u ocuparse?

En los últimos tiempos se ha debatido mucho acerca de las posibles consecuencias de una agricultura que recurra a *organismos genéticamente modificados* (OGM); en particular, la discusión ha versado sobre los efectos que estos organismos podrían producir en la salud humana y el ambiente natural. La cuestión sigue abierta, entre otras razones, porque la información sobre el asunto no llegó a la sociedad en el momento en que hubiese debido llegar, ni ilustró suficientemente al público. Por ejemplo, los consumidores argentinos se enteraron de que consumían soja genéticamente modificada cuando la mayor parte de la superficie dedicada a ese cultivo ya se sembraba con tal tipo de planta. Y en el momento en que se enteraron no les llegó razonable ilustración sobre las cuestiones en juego (ver 'Sobre organismos transgénicos: asuntos económicos y éticos', CIENCIA HOY, 67: 56-61, 2002, e 'Impacto ambiental de los cultivos transgénicos', CIENCIA HOY, 75: 26-37, 2003). El resultado fue que, exacerbadas por temores ante lo desconocido, afloraron mezcladas diversas preocupaciones de la sociedad, como la seguridad alimentaria, la salud animal, la agricultura industrializada y la influencia de las grandes empresas multinacionales. Además, se difundieron visiones radicales, tanto a favor como en contra de los OGM, basadas en posiciones subjetivas y en ideologías, antes que en un análisis racional de ventajas y desventajas. No es de extrañar, pues, que las encuestas de opinión hayan puesto

de manifiesto que la percepción pública de los riesgos de los OGM suele estar distorsionada con relación a la realidad de esos riesgos. Como se puede apreciar en el cuadro de la página 100, algunos de esos riesgos son exagerados por el público y otros no son suficientemente valorados.

Las plantas que hoy se cultivan y el ganado que se cría son el resultado de una prolongada acción del hombre sobre la naturaleza, en un proceso que se inició hace miles años, en lo que la historia denominó la revolución neolítica, por la que las bandas de cazadores-recolectores pasaron gradualmente a vivir como agricultores y pastores. Al principio dicha acción tuvo lugar de forma más o menos intuitiva, pero luego pasó a hacerse de manera programada, por ciclos sucesivos de selección de plantas o animales con características deseables y de cruzamiento de los individuos elegidos para producir una progenie con los rasgos deseados. A ese mejoramiento genético tradicional se ha adicionado ahora uno moderno, que se vale de distintas herramientas para facilitar o acelerar los procesos. Tales herramientas incluyen manipulaciones de células, órganos y tejidos *in vitro*. Según algunos investigadores, todos los organismos vegetales u animales que son producto de la intervención humana y se obtienen mediante la reproducción sexual son OGM en un sentido amplio.

Pero en su acepción más difundida, el término OGM se refiere específicamente a organismos originados en

procesos en los que no interviene la reproducción sexual. En otras palabras, en esta acepción ampliamente difundida, OGM es aquel organismo cuyo genoma (es decir, el conjunto de todos los genes que posee, que se repiten –con alguna excepción– en cada una de sus células) fue alterado por procedimientos de laboratorio con el propósito de conferirle alguna característica deseable, como la resistencia a plagas o heladas. Las técnicas de laboratorio que permiten realizar esta manipulación genética se denominan, genéricamente, *ingeniería genética*, y el resultado de su aplicación es alterar el material hereditario, que es el ADN u otros ácidos nucleicos de las células, para que un organismo o una población adquieran los rasgos que se busca conferirles. El genoma de un OGM incluye genes de otra especie, que puede incluso pertenecer a otro reino de la naturaleza, por eso se lo denomina también *organismo transgénico*. Por ejemplo, se ha obtenido una variedad de papa que sobrevive a las heladas porque tiene incorporado un gen de un pez que habita en aguas muy frías y que lleva la información para producir una proteína anticongelante. De esta manera se habla de cultivos transgénicos con incrementada resistencia al ataque de virus, hongos o insectos, o con la capacidad de tolerar ciertos herbicidas.

Si bien es cierto que la utilización de OGM, como la de cualquier otro producto de la ciencia o la tecnología, no está libre de riesgos, así como no lo está, por ejemplo, la utilización de medicamentos, también es verdad que esa utilización puede generar importantes beneficios. El tema se trata con mayor amplitud en ‘La revolución genética y la agricultura’ (en este volumen) y en ‘El pan nuestro de cada día’ (CIENCIA HOY, 62: 22-43, 2001). La estimación de los riesgos implícitos en una situación

Factores de riesgo	Percepción social del riesgo
Patógenos transmitidos por los alimentos	Subestimado
Contaminación ambiental	Subestimado
Toxinas naturales	Subestimado
Aditivos de alimentos	Sobreestimado
Residuos de pesticidas	Sobreestimado

Riesgos de seguridad alimentaria en los Estados Unidos. La columna de la izquierda presenta los riesgos reales ordenados de mayor a menor; la de la derecha indica cómo los percibe el público. Fuente: Pariza MW, 1992, ‘A new approach to evaluating carcinogenetic risk’, *Proceedings of the National of Sciences*, 89: 860.

particular incluye cuatro pasos: (i) identificación del peligro, (ii) definición de la intensidad o severidad relativa del peligro, (iii) determinación del grado de exposición al peligro en el caso particular, y (iv) cálculo del riesgo en dicho caso particular. Pero aunque tales estimaciones se hacen de manera rigurosa, no son generalizables debido a que no todos los individuos o ambientes reaccionan de la misma forma, y a que el conocimiento que se tiene en muchos casos es incompleto.

La modificación genética de plantas puede tener efectos variables sobre los ecosistemas. En ciertos casos la modificación puede dispersarse en las poblaciones silvestres emparentadas pero no afectar su adaptación al ambiente, por tratarse de cambios genéticos que no alteran características relevantes de esas poblaciones. En otros casos, la modificación genética puede conferir a las plantas silvestres rasgos negativos para esa adaptación, por lo que termina siendo eliminada de las poblaciones por el proceso de selección natural; de este tipo son, por ejemplo, las modificaciones que determinan esterilidad del polen o modifican la biosíntesis de la lignina. Las consecuencias de modificaciones genéticas que confieren tolerancia a herbicidas o resistencia a plagas y enfermedades dependen de factores más complejos. Si las poblaciones silvestres emparentadas de una especie están controladas por determinada plaga, la incorporación de resistencia a esa plaga aumentará las ventajas adaptativas de esas poblaciones y alterará el equilibrio ecológico. Los genes de tolerancia a herbicidas resultarían neutros en los ambientes naturales, pero si se incorporasen a poblaciones silvestres con características de malezas, podrían dificultar el control de estas en los ecosistemas agrícolas. Los genes que confieren tolerancia a factores adversos como estrés hídrico o salino, o que alteran los patrones de crecimiento, pueden producir cambios importantes en la adaptación de las plantas al medio, que amplíen los hábitats de las especies y, en consecuencia, que afecten los ecosistemas.

De algunas especies vegetales cultivadas en la Argentina, como colza, alfalfa, papa, girasol, maíz o algodón, además de la mencionada soja, se han desarrollado va-



Figura 1. Flores de la papa silvestre *Solanum ruiz-lealii*: normales, con anteras bien desarrolladas y gametos masculinos fértiles.

riedades comerciales transgénicas que, entre otras características, presentan tolerancia a herbicidas, resistencia a virus, hongos o insectos, o tienen contenido modificado de almidón o aminoácidos. Los riesgos ambientales que se han señalado en los últimos años acerca de los OGM son varios. Por su tolerancia o resistencia a herbicidas, se teme que puedan convertirse en malezas de otros cultivos o que den lugar a poblaciones asilvestradas, y que, en ambos casos, sean incontrolables. También, que se crucen con alguna especie emparentada y originen híbridos que se transformen en malezas igualmente incontrolables. Por su resistencia a enfermedades o a plagas, se teme que si los OGM se cruzaran espontáneamente con especies emparentadas carentes de esa resistencia, se la podrían conferir a la progenie, la que por tal razón podría desplazar del ecosistema a la especie menos resistente e incluso ocasionar su extinción. Procesos como este indican un riesgo de alteración del equilibrio ecológico natural, algo que no termina con la posible pérdida de la diversidad genética (o erosión genética) de la especie o especies en cuestión o, eventualmente, su desaparición, sino que pueden ser afectadas otras especies vinculadas con ellas, por ejemplo, las que dependen de ellas para su alimentación.

Esta posibilidad de que, por cruzamiento, se produzcan híbridos cuyos genes provengan tanto del OGM como de la especie con la que se cruce, es decir, de que tenga lugar un flujo génico, podría eventualmente desencadenar catástrofes ecológicas. Sin embargo, el flujo génico no es un proceso desconocido en la naturaleza. Ocurre constantemente en forma natural en plantas y animales que se reproducen sexualmente, y da lugar al movimiento o dispersión de genes en una población o entre poblaciones, lo que trae aparejado el aumento de la diversidad genética, que es la base de la evolución. En las plantas, por ejemplo, el flujo génico se produce cuando el polen, que contiene las células espermáticas o gametos masculinos de una especie, es transportado por agentes físicos o biológicos, incluso a grandes distancias, y depositado en el pistilo, donde puede germinar y entrar en contacto con los gametos femeninos de otra especie. Los agentes polinizadores físicos son el viento y el agua, y los biológicos más comunes suelen ser abejas, mariposas, aves o pequeños mamíferos, en acción de alimentarse.

El proceso descrito puede ocurrir, por ejemplo, entre especies emparentadas cuya distribución geográfica tenga áreas de superposición. Tales especies podrían, en principio, cruzarse y producir descendencia híbrida. Sin embargo, las especies mantienen habitualmente su integridad por períodos muy prolongados, de hasta miles o millones de años. Esto se debe a que, a lo largo de la evolución, la naturaleza ha creado obstáculos a la fecundación entre especies, barreras que aseguran el aislamiento reproductivo y, en mayor o menor medida, impiden o restringen la hibridación. Dichas barre-



Figura 2. Flores de la papa silvestre *Solanum ruiz-lealli*: deformadas, con anteras poco desarrolladas y gametos masculinos estériles.

ras suelen dividirse en externas e internas. Las primeras pueden ser: (i) espaciales (las especies emparentadas habitan distintos ambientes geográficos: son alopátricas), (ii) temporales (las especies son simpátricas –crecen en las mismas áreas– pero tienen distintos períodos de floración), (iii) ecológicas (las especies están adaptadas a nichos ecológicos diferentes y, aunque se puedan cruzar, producirán una descendencia híbrida con menor capacidad de sobrevivir en los ambientes de sus progenitores, la que terminará desapareciendo de la población después de algunas generaciones), o (iv) mecánicas (los órganos sexuales de la planta y el organismo polinizador evolucionaron en forma paralela, de modo que este solo visita y poliniza las flores de aquella). Las barreras internas residen en los tejidos de las plantas y son independientes de las anteriores, a las que refuerzan. Pueden actuar antes de la fecundación o formación del cigoto (barreras precigóticas) o después de ella (barreras poscigóticas), y ser completas o incompletas en uno o en ambos sentidos de un cruzamiento determinado.

Si entre dos especies no hubiera barreras reproductivas externas o si estas fueran superadas, se produciría la fecundación, de la que resultaría una semilla híbrida. Esta, al germinar, daría origen a una planta que podría florecer normalmente (figura 1). En ese caso, si los cromosomas de las dos especies progenitoras hubiesen diferido en su estructura y contenido de genes, la planta híbrida podría producir gametos (producto del proceso de meiosis) anormales, con duplicaciones y deficiencias de genes. Si tales duplicaciones y deficiencias abarcaran muchos genes o genes que controlan procesos vitales (o si hubiesen ocurrido interacciones entre los genes cromosómicos de una especie, que están en el núcleo de las células, y los genes de los cloroplastos y las mitocondrias de la otra especie, que están en el citoplasma), la esterili-

lidad podría ser total (figura 2). En cambio, si los cromosomas de las especies progenitoras hubiesen tenido menores diferencias estructurales, sus gametos podrían tener menos duplicaciones y deficiencias de genes. En tal caso, las plantas híbridas podrían ser vigorosas y fértiles (figura 3), pero generar plantas débiles o estériles en las generaciones siguientes.

Las barreras a la hibridación natural generalmente son poderosas: es muy común encontrar que dos especies cercanas estén separadas por barreras de más de un tipo o por distintos mecanismos. Por ejemplo, si dos especies simpátricas no se pueden cruzar porque florecen en momentos diferentes y, por alguna contingencia climática, los períodos de floración se superpusieran ocasionalmente en forma parcial o total, es probable que esas especies tampoco se crucen, porque otra barrera se lo impediría, por ejemplo, que el polen de una, depositado en el pistilo de la otra, no ponga en acción las señales bioquímicas necesarias para que tenga lugar la fecundación, algo similar a lo que sucedería si se tratase de especies no emparentadas: si el polen de una planta de papa se deposita en el pistilo de una de trigo nada sucede porque las señales bioquímicas son incongruentes.

A la luz de lo expuesto se podrá comprender que las consecuencias sobre los ecosistemas naturales o agrícolas de los cultivos de OGM o transgénicos dependerán de hasta qué punto se produzca flujo génico. Esto, a su vez, estará en gran medida en función de la existencia de barreras reproductivas y de la magnitud de ellas, lo que determinará si tiene lugar la hibridación. En la medida en

que las barreras sean débiles o incompletas, podrían generarse híbridos; inversamente, cuanto más importantes sean esas barreras, menor será la probabilidad de hibridación. Asimismo, cuanto más alejadas genéticamente estén las especies, menor será la probabilidad de que se crucen y produzcan híbridos. Pero aun si ello sucediera, la incorporación permanente de sus genes a especies silvestres emparentadas (o *introgresión*) no sucedería de manera instantánea, porque el proceso es dinámico y requiere muchos pasos que abarcan varias generaciones híbridas.

De cualquier manera, se considera que el riesgo de afectar el ambiente es alto con algunas especies de plantas. Una de ellas es el sorgo. Se dispone de buenas evidencias de introgresión de esta especie en el sorgo de Alepo, una de las peores malezas del mundo. Otras plantas, como la alfalfa, la colza y el girasol, se consideran de riesgo moderado, porque solo producen híbridos con algunas especies emparentadas.

Como se puede apreciar, la preocupación por los riesgos ambientales de los OGM es legítima. Por eso, las normas sancionadas en distintos países contemplan cuestiones específicas relacionadas con el flujo génico. Tienen en cuenta las especies que crecen en determinadas áreas, su modo de reproducción, los mecanismos de polinización, las distancias de dispersión del polen, etcétera. Los datos sobre flujo génico entre especies cultivadas y otras silvestres genéticamente cercanas a ellas son escasos, principalmente porque las variedades genéticamente modificadas o transgénicas de los principales cultivos fueron creadas en países del hemisferio norte, donde solo crecen espontáneamente unas pocas especies emparentadas con ellos, como girasol en el suroeste de los Estados Unidos. El riesgo de flujo génico, en consecuencia, no ha constituido una preocupación en esos países, en los que solo hace poco comenzaron a trabajar en el tema algunos grupos de investigación. Tal situación contrasta con la de países de menor desarrollo económico pero ubicados geográficamente en el lugar de domesticación de cultivos de mucha importancia para la alimentación mundial, como trigo en Irak y otras tierras del cercano y medio Oriente (donde fue domesticado hace unos 9000 años, según el registro arqueológico), arroz en la India, papa en América Central y del Sur, incluida la Argentina (figura 4) y maíz en México, entre otros. En tales lugares viven aún especies silvestres y naturalizadas emparentadas con los mismos cultivos, que constituyen una fuente importante de diversidad genética para el mejoramiento genético de estos. Por ejemplo, existen 35 especies silvestres de papa originarias del actual territorio argentino (ver 'Especies silvestres y mejoramiento genético de la papa', CIENCIA HOY, 35: 46-53, 1996) y en varias regiones del país crecen espontáneamente especies adicionales, nativas de otras regiones del mundo, emparentadas con las que se cultivan (figura 5). En tales casos, el cultivo de variedades



Figura 3. Plantas híbridas resultantes de cruzar la papa cultivada y la especie silvestre emparentada *Solanum gourlayi*.

genéticamente modificadas o transgénicas, creadas en el hemisferio norte, emparentadas con esas especies silvestres podría dar lugar a los efectos ambientales explicados y a poner en peligro dicha diversidad genética.

Como los datos obtenidos en un ambiente no son necesariamente similares a los que se obtendrían en otros, el riesgo del cruzamiento de OGM con especies silvestres o naturalizadas emparentadas y de introducción no deseada de genes de aquellos en la descendencia debe ser analizado caso por caso. Es necesario proceder con suma prudencia, incluso evitar, por ejemplo, la incorporación de características como la resistencia a herbicidas en dichos OGM, si las especies silvestres o naturalizadas emparentadas, con las cuales se podrían cruzar, tienen comportamiento de maleza. Un ejemplo de tal situación es el mencionado sorgo de Alepo. La discusión sobre las formas de evitar el flujo génico se ha centrado en la creación de barreras físicas, como distancias mínimas de siembra o plantación entre los OGM y sus especies emparentadas. Pero también se puede recurrir a barreras



Figura 4. Las hojas verdes al pie de la foto pertenecen a plantas de papa silvestre *Solanum ruiz-lealli*, creciendo en San Rafael, Mendoza.

EL MARCO JURÍDICO ARGENTINO DE LOS OGM

En la Argentina el uso agrícola de los OGM está regulado por un complejo conjunto de disposiciones legales encuadradas en el sistema normativo general de la actividad agropecuaria. En 1991 se creó en la Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), un grupo interdisciplinario e interinstitucional, con miembros tanto del sector público como del privado, para servir de órgano de evaluación y consulta de esa secretaría en materia de tales organismos. El enfoque regulatorio argentino se basa en las características y en los riesgos de los productos de la biotecnología, y no en el proceso mediante el cual ellos fueron producidos. Considera los riesgos para el ambiente, la producción agropecuaria y la salud pública. La comisión definió las condiciones para permitir la liberación al medio de OGM, acción que requiere obtener autorización oficial caso por caso. La CONABIA evalúa cada solicitud presentada en un proceso que tiene cierta complejidad.

Las normas específicas aplicables a distintos aspectos del proceso de los OGM son: la ley 13.636/1949 sobre elaboración y comercialización de productos veterinarios, el decreto-ley 6704/1963 de defensa sanitaria de la producción agrícola, la ley 20.247/1973 de semillas y creaciones fitogenéticas, la ley 25.127 sobre producción ecológica, biológica u orgánica, un conjunto de resoluciones de la SAGYP (entre ellas las 124/1991, 656/1992, 837/1993, 345/1994, 289/1997, 131/1998, 511/1998, 1265/1999, 39/2003 y 57/2003) y la resolución 412/2002 del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). En la tarea de verificación del comportamiento de los productos autorizados intervienen también el Instituto Nacional de Semillas (INASE) y el mencionado SENASA.

En el período 1991-2003 la SAGYP otorgó 670 permisos de liberar al ambiente organismos vegetales genéticamente modificados. Los cultivos para los que se concedió un mayor número de autorizaciones fueron maíz, girasol, soja y algodón. Hubo menos permisos para trigo, papa y arroz. Las principales características introducidas con la manipulación genética fueron tolerancia a herbicidas (principalmente glifosato) y resistencia a insectos, sobre todo a lepidópteros y, en menor escala, a coleópteros.

Luego de analizar las solicitudes de liberación al ambiente de OGM, la CONABIA obtiene conclusiones sobre las que la SAGYP (hoy Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación, SAGPYA) concede o deniega el permiso. Tal evaluación y el permiso abarcan dos etapas, una encaminada a permitir liberaciones restringidas a título experimental y otra a conceder permisos de liberación extensiva. La segunda (también llamada fase de *flexibilización*) busca establecer que el OGM considerado no producirá cambios ambientales apreciablemente mayores que la variedad no modificada. Cumplida la segunda etapa de autorización, y las eventuales condiciones que de ella pudiesen resultar, se requiere un permiso adicional para poner el OGM en el comercio, lo cual implica una evaluación por parte de la CONABIA, por no menos de dos años, de los riesgos para los ecosistemas agrícolas del cultivo comercial del OGM. También requiere de una evaluación del producto para la alimentación humana y animal, realizada en por lo menos un año, por el SENASA, y una opinión de la Dirección Nacional de Mercados Agroalimentarios sobre posibles consecuencias negativas en el comercio internacional.



Figura 5. Plantas de zanahoria silvestre *Daucus carota*, en Rauch, Buenos Aires.

biológicas, como incorporar en los OGM genes que determinen la esterilidad de los gametos masculinos de la descendencia, si no se va a comercializar la semilla. De hecho, en los países más desarrollados se está realizando investigación sobre estos aspectos.

Dado que la utilización de OGM no está libre de riesgos, estos tienen que analizarse y medirse con relación a

los beneficios que podrían generar. Para poder hacerlo, es necesario contar con resultados de estudios serios de cada caso particular, llevados a cabo de manera independiente de intereses o propósitos económicos. En ese sentido, las instituciones más adecuadas para realizar tales investigaciones son las académicas, en la medida en que existan mecanismos para proporcionarles financiación, seguramente de origen mayoritariamente público, en términos que aseguren la calidad de la labor científica y la libertad de indagación, de opinión y de difusión de los resultados. También se necesita que el contexto institucional de esas entidades académicas estimule a sus integrantes a producir con responsabilidad los estudios en cuestión. Este es un caso en que la investigación realizada o promovida por empresas con fines de lucro no puede reemplazar a la ciencia académica básica financiada mediante dinero público. No solo se trata de evitar conflictos de intereses sino, también, de no dejar de lado vías que puedan ser de poco interés comercial pero de mucha importancia, por ejemplo, para los pequeños agricultores de países pobres.

Las ideas que se tienen actualmente del riesgo creado por el flujo génico desde los OGM o transgénicos a las especies silvestres o naturalizadas emparentadas van a cambiar a medida que vayamos disponiendo de más información y logremos una mejor comprensión del tema. Hasta entonces, es fundamental proceder con prudencia en la liberación al ambiente de este tipo de cultivos. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

RAIMONDI JP, CREUS MC, FEINGOLD S y CAMADRO EL, 2002, 'Las plantas transgénicas: ¿constituyen un riesgo para la salud humana y el ambiente?', *Nexos*, 15: 15-20.

STEWART CN, HALFILL MD & WARWICK SI, 2003, 'Transgene introgression from genetically modified crops to their wild relatives', *Nature Review i. Genetics*, 4: 806-843.

Mónica Poverene y Miguel Cantamutto
Departamento de Agronomía, Universidad
Nacional del Sur

Impacto ambiental de los cultivos transgénicos

En la última década la Argentina ha asumido un papel de liderazgo en la producción de cultivos genéticamente modificados (GM) en América Latina. Aunque la política en esta materia no ha sido sostenida, la superficie cultivada con variedades transgénicas de soja, maíz y algodón aumentó rápidamente desde 1998 y las solicitudes de ensayos de cultivos GM comprendieron una variedad de especies (tabla 1). La evaluación de impacto ambiental debería acompañar cualquier ensayo de nuevas tecnologías, pero es especialmente importante en los relacionados con biotecnología agrícola. La Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) creada en 1991 y dependiente de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPYA) se encarga de regular la introducción y liberación al ambiente de organismos transgénicos. La mayoría son cultivos; en unos pocos casos se trata de vacunas de uso veterinario. La normativa está basada en las características del organismo genéticamente modificado (OGM) y en los riesgos que podrían derivar de su utilización. Presta especial atención a los aspectos que hacen al ambiente, la producción agropecuaria y la salud pública. El permiso de ensayo de OGM a campo o en condiciones

controladas de invernáculo y laboratorio tiene en cuenta las características del organismo, las del sitio donde se realiza y las condiciones del ensayo. El control posterior está a cargo del ex Instituto Nacional de Semillas (INASE) y del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA).

Formas de impacto ambiental

El impacto ambiental puede adoptar distintas formas. Sin duda, la mayor perturbación de los ecosistemas proviene de la actividad agrícola, que ha ocupado extensas superficies con cultivos en todo el mundo, destruyendo la flora natural, modificando el suelo y desbaratando toda forma de vida autóctona. Otras actividades humanas, como la caza no autorizada y la urbanización, reducen asimismo la biodiversidad. Pero también hay causas naturales de impacto, como el intercambio de genes entre las especies vegetales domesticadas y sus parientes silvestres, a través del polen. Todas esas formas de impacto ambiental pueden alterarse, como consecuencia del uso de biotecnología agrícola.

Aumento de la superficie agrícola

Actualmente, la superficie agrícola mundial dedicada a la siembra de especies de valor alimentario o industrial –trigo, maíz, arroz, soja, cebada, girasol, algodón y muchas otras– ha llegado virtualmente a un máximo y no sería posible aumentarla sin comprometer seriamente el equilibrio ecológico. La destrucción indiscriminada de bosques y selvas tiene un impacto negativo sobre el clima y la preocupación sobre el cambio global del ambiente crece incesantemente. Los rendimientos de los cultivos también han ido aumentando progresivamente hasta un máximo, impuesto por sus propias bases genéticas y las condiciones agroecológicas de cultivo en las distintas regiones mundiales. Es improbable que a través de las técnicas tradicionales de mejoramiento genético se logre un aumento significativo de la producción en los próximos años. Por otra parte, los insectos, las enfermedades causadas por hongos, virus o bacterias y la competencia ejercida por malezas destruyen cerca del 40% de la producción mundial (figura 2). Las pérdidas por estas causas afectan principalmente las producciones agrícolas de los países en desarrollo, ya que disponen de menor tecnología para su control que los países industriales. En este escenario, la biotecnología agrícola ofreció una solución a través de la creación de variedades vegetales GM con tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos o a enfermedades causadas por bacterias, hongos y virus. Esto permitió un in-

cremento de la producción por hectárea sin un aumento significativo de la superficie arable, mientras que la modificación genética no tuvo efecto sustancial sobre otras características de la planta que determinan el rendimiento.

Es comprensible que la adopción de biotecnología agrícola fuera muy rápida y movilizara grandes intereses económicos. En nuestro país, el primer ensayo con soja GM fue autorizado en 1991, sobre una superficie de 400m². En la campaña agrícola 1997-1998 el cultivo comercial de soja transgénica comprendió el 20% del área total cultivada, ascendiendo al 72% (5,5 millones de ha) al año siguiente y cerca del 90% (8,6 millones de ha) en 1999-2000. Se estima que en la última campaña, 95 a 98% de los 11,5 millones de hectáreas sembradas lo fueron con variedades GM, principalmente soja RR, a la que se le ha introducido un gen bacteriano que confiere resistencia al herbicida glifosato. El impacto ambiental derivado de la adopción de esta tecnología no tuvo precedentes en la Argentina, en lo que se refiere a manejo del suelo y uso de agroquímicos.

El paquete tecnológico siembra directa

Las variedades GM de soja disminuyeron los costos de producción debido a la simplificación de las tareas de

	1991-1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	Total
Maíz	18	18	23	41	40	44	22	23	229
Girasol	2	-	2	17	24	18	7	4	74
Soja	8	9	6	7	12	10	15	10	77
Algodón	6	5	4	7	4	5	9	8	48
Papa	-	1	1	2	3	1	4	3	15
Trigo	1	1	2	1	2	1	3	3	14
Alfalfa	-	-	-	1	4	-	1	8	14
Colza	5	2	1	1	-	-	-	-	9
Tabaco	-	-	-	-	-	-	2	2	4
Tomate	1	-	-	1	-	-	2	-	4
Arroz	-	-	-	-	1	2	-	-	3
Remolacha azucarera	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Frutilla	-	-	-	-	-	-	-	1	1
Total	42	36	39	78	90	81	65	62	493
Ensayos a campo	37	32	38	67	71	77	60	55	437

Tabla 1. Solicitudes de liberación de ensayos de OGM aprobadas por CONABIA, discriminadas por año y por cultivo, en la última década en la Argentina. Casi el 89% fueron ensayos a campo y el resto, en invernáculo o laboratorio.



Figura 1. Girasol silvestre (*Helianthus petiolaris*) en un lote sin cultivar próximo a Macachín, provincia de La Pampa.

labranza y reducción del uso de agroquímicos, mediante la práctica conocida como siembra directa. Nuestro país presenta condiciones especialmente favorables para la siembra directa debido a las estaciones de crecimiento relativamente largas que predominan en la mayor parte de la región productora de granos. Desde el inicio de la agricultura se buscó un cultivo que pudiera sembrarse en la misma estación, luego de cosechar el trigo. Mijo, sorgo y girasol fueron ensayados sin éxito, hasta que con la expansión de la soja, en la década de 1970, se logró el objetivo. Esta modalidad, denominada 'siembra de segunda', debe ser realizada lo más temprano posible, para aprovechar al máximo las temperaturas del otoño durante el llenado de los granos. El laboreo convencional, que deseca el suelo y requiere varios días de trabajo, fue rápidamente reemplazado por la siembra directa, que puede realizarse inmediatamente de cosechado el cereal. Consiste en el laboreo de una angosta franja del suelo a escasa profundidad, donde se deposita la semilla con sembradoras especiales. Las malezas presentes al momento de la siembra se controlan con herbicidas totales, pero las que emergerán en las primeras etapas del cultivo deben ser controladas con herbicidas de efecto residual. Las dificultades del control de las malezas en soja de segunda fueron muchas hasta el advenimiento de la soja RR. Antes de ello, se requería un verdadero 'arsenal' de herbicidas con suficiente estabilidad y residualidad como para trabajar en suelos cubiertos por rastrojos de trigo. El herbicida glifosato es rápidamente degradado en los suelos dedica-

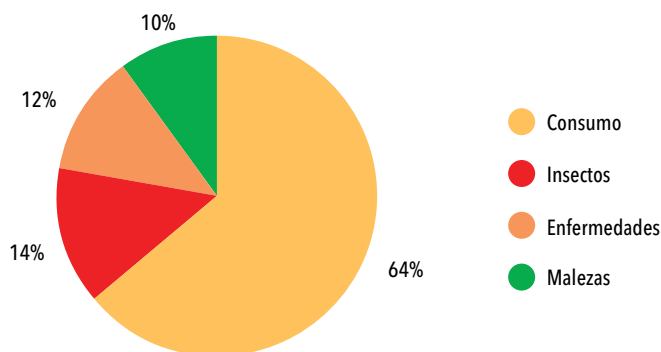


Figura 2. Destino de la producción mundial de los principales cultivos. Casi el 40% se pierde debido al ataque de insectos y enfermedades y a la competencia de malezas.

dos al cultivo de soja RR, mientras que los utilizados en soja tradicional conservan mayor vida media en el suelo. Frente a la agricultura tradicional, la siembra directa ha mejorado la actividad de la microflora y la microfauna (especialmente, lombrices) del suelo, el contenido de materia orgánica superficial, la porosidad, la tasa de infiltración, retención de agua y nutrientes, y ha disminuido ostensiblemente los riesgos de erosión hídrica y eólica. Esta técnica también ha permitido incorporar a la agricultura extensas regiones con dificultades de laboreo como los suelos extremadamente pesados del centro de Entre Ríos o los sensiblemente erosionables del sureste de San

Luis. En la Argentina, donde dos tercios del territorio corresponden a regiones áridas y semiáridas, las prácticas agrícolas conservacionistas que reducen la erosión del suelo y la pérdida de la fertilidad son casi una obligación moral hacia las generaciones futuras. Sin embargo, el verdadero impulso de la siembra directa estuvo dado por la combinación de simplicidad de manejo del sistema, mayor oportunidad de laboreo, menor demanda de mano de obra y abaratamiento de los costos en general.

La transformación genética que determina la resistencia a herbicidas en los cultivos permitió un control de malezas con menor impacto en el ambiente. No obstante, el abuso de herbicidas totales en banquinas y caminos vecinales ha determinado una drástica reducción de malezas y plantas nativas. Esas comunidades son reservas de especies adaptadas, de posible utilidad futura y refugio de fauna benéfica que participa en el control biológico de plagas. Esta situación remite a uno de los impactos ambientales más temidos, la reducción de la biodiversidad. El Estado debería velar por la existencia de 'corredores' de vegetación espontánea que posibiliten la supervivencia de especies actual y potencialmente benéficas antes de que se pierdan definitivamente como patrimonio de nuestra biodiversidad.

Resistencia genética a los pesticidas

La producción agrícola requiere del control de plagas y enfermedades mediante la aplicación repetida de pesticidas, especialmente en cultivos intensivos como frutales y hortícolas, que puede resultar peligrosa para las personas y el ambiente. Las toxinas producidas por distintas cepas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* han sido utilizadas por muchos años como insecticidas naturales, aun en los llamados cultivos orgánicos, y representan actualmente la alternativa más aceptable en términos ecológicos. La pulverización de las plantas con una solución que contiene la bacteria está siendo reemplazada por la biotecnología. Los genes bacterianos productores de las toxinas han sido aislados e introducidos por ingeniería genética en plantas, lo que se conoce como transformación Bt. Estas toxinas son muy específicas, causando la muerte a un tipo de insectos en particular (generalmente, lepidópteros o coleópteros) cuando se alimentan del cultivo, mientras que son inofensivas para los animales, el hombre y los insectos benéficos, como las abejas. Se dispone actualmente de variedades Bt de maíz, algodón, soja, papa, tomate, tabaco y otros cultivos, que no necesitan de control agroquímico. El uso de variedades de



Figura 3. Girasol silvestre (*Helianthus annuus ssp. annuus*) en cercanías de la ciudad de Río Cuarto, Córdoba.

maíz y algodón Bt reduce drásticamente el número de aplicaciones de insecticidas de gran poder residual y de amplio espectro, que impactan también sobre insectos controladores naturales de las plagas.

Sin embargo, el uso comercial de cultivos Bt ejerce una fuerte presión selectiva favoreciendo a los insectos resistentes a las toxinas. En todas las poblaciones existen individuos que llevan entre sus genes mutaciones de resistencia, pero estas solamente se expresan en el ambiente adecuado. Una mutación de resistencia a la toxina Bt le permitiría a los raros insectos portadores sobrevivir y reproducirse mientras sus congéneres, que no llevan la mutación, sucumben. La descendencia heredaría los genes de resistencia y, en unos pocos años, la biotecnología desarrollada para el control de insectos se volvería inefectiva. Para evitar esta situación se ha ideado la técnica del 'cultivo refugio', que consiste en sembrar una franja de variedad no transgénica junto a la variedad Bt. Los insectos se reproducen libremente en esa franja, de modo que los raros portadores de resistencia se mantendrán en una frecuencia relativamente baja en la población total de insectos. La aplicación de esa técnica requiere colaboración por parte de los agricultores, conocimiento y persuasión por parte de quienes tienen la responsabilidad de instruirlos, ya que la pérdida de la eficacia Bt es actualmente uno de los mayores riesgos ambientales.

Reducción de la biodiversidad

Por su ubicación geográfica y variedad climática, la Argentina es rica en una gran diversidad de formas vivientes vegetales y animales. Los mejoradores de plantas han desarrollado técnicas para incorporar a los cultivos caracteres de interés presentes en especies vegetales silvestres a través de cruzamientos y selección de descendientes, cuyo fin último es aumentar la producción. La resistencia a enfermedades y pestes, la tolerancia a ciertos herbicidas y otros factores abióticos (frío, sequía) que confieren rusticidad a las plantas silvestres han sido transferidos a variedades cultivadas por vía sexual en muchas especies, en lo que se conoce como planes de 'cruzamientos amplios'. Por otra parte, las técnicas de ingeniería genética desarrolladas desde mediados de la década de 1970 facilitaron y aceleraron extraordinariamente este proceso, ya que permitieron transferir en forma individual una característica hereditaria de una especie a otra a nivel celular, sin necesidad de cruzamientos y obtención de progenie por vía sexual. En todo el mundo se han establecido bancos de germoplasma que coleccionan semillas, plantas en pie o cultivadas in vitro, para documentar y caracterizar las especies y sustentar futuros trabajos de mejoramiento. Son verdaderos bancos de genes, donde se puede recurrir en busca de materiales para incorporar a proyectos de ingeniería genética o de

cruzamientos. El estudio y la utilización de la biodiversidad han sido un hito de los programas de mejoramiento tradicional de los cultivos en todo el mundo.

La mayor amenaza a la biodiversidad es la conversión de áreas naturales en áreas agrícolas, aunque esto no puede atribuirse a los cultivos transgénicos. Por el contrario, se espera que estos contribuyan a detener la expansión de las fronteras agrícolas, o al menos a reducir la velocidad de expansión. La tendencia al monocultivo y a la uniformidad genética por el uso de unas pocas variedades GM que dominen el mercado de semillas han sido invocadas como causas de erosión genética. Se entiende por 'erosión' la pérdida de variabilidad genética de un cultivo, que lo haría vulnerable a pestes y enfermedades y menos adaptable a diversas condiciones ecológicas. La introducción artificial de un gen en una especie vegetal se realiza en unas pocas plantas de una variedad, proceso llamado 'evento de transformación', que es patentado como una propiedad intelectual. Pero una vez incorporado el transgén, puede ser transferido desde esa variedad GM a muchas otras variedades por cruzamientos naturales. El evento de transformación MON-810, que confiere resistencia a lepidópteros en plantas de maíz, fue transferido a más de veinte variedades diferentes presentadas a CONABIA entre 1998 y 2001. La variabilidad genética de una especie cultivada reside en el número de diferentes variedades o cultivares disponibles, cada uno con sus propias características morfológicas, fisiológicas y de adaptabilidad. El hecho de agregar un transgén no disminuye la variabilidad ya presente, de modo que la biodiversidad se mantiene.

Transferencia de genes a especies silvestres

El origen de los modernos cultivos se remonta a la antigüedad, cuando el hombre dejó su existencia nómada y comenzó el proceso de domesticación de plantas y animales. A través de la selección de individuos y su reproducción en condiciones controladas, ese largo proceso produjo numerosas especies vegetales incapaces de perpetuarse en condiciones naturales, sin la ayuda del hombre. El maíz, el trigo y el girasol son buenos ejemplos: las plantas tienen escasa capacidad para competir con malezas y para diseminar su semilla. Los antecesores silvestres de numerosos cultivos crecen todavía en diversas regiones del mundo y pueden cruzarse naturalmente con ellos, originando progenie híbrida por vía sexual (tabla 2). En esos casos es teóricamente posible la transferencia de genes introducidos por biotecnología desde un cultivo GM a sus parientes silvestres a través del polen dispersado por el viento, los insectos u otros animales. El intercambio de genes entre plantas cultivadas y silvestres

en condiciones naturales es bien conocido y sus consecuencias pueden ser graves para el ambiente. Una de las malezas más nocivas, el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*) parece haberse originado por hibridación natural entre el sorgo cultivado (*S. bicolor*) y una especie silvestre del sureste asiático, *S. propinquum*. Los cruzamientos naturales continuamente transfieren genes entre distintas especies, por lo que cabe esperar que un gen introducido por técnicas de ingeniería genética en un cultivo pase de la misma manera a una especie silvestre afín. El argumento de que la expresión de ese transgén en el genoma de la especie silvestre puede traer consecuencias insospechadas, también cabe a cualquier otro gen del cultivo. Cualquier gen de una especie en el fondo genético de otra podría expresarse en una forma diferente que en la especie original.

Un transgén que confiera una ventaja en un determinado ambiente, como tolerancia a herbicidas o resistencia a plagas, enfermedades o estrés ambiental, probablemente se diseminará rápidamente en una población silvestre debido a que las plantas que lo adquieran estarán en mejores condiciones de prosperar y producir semilla que aquellas que no lo tienen. En el concepto de Darwin de la supervivencia del más apto y la selección natural, las plantas silvestres portadoras del transgén mostrarían ventajas adaptativas ante la aplicación de herbicidas o el ataque de insectos y enfermedades.

Una especie vegetal transgénica representaría un riesgo para el ambiente solamente si pudiera sobrevivir por sí misma fuera del cultivo o si se cruzara naturalmente

con sus parientes silvestres que conviven en la misma región, transfiriéndoles el gen en cuestión a través del polen. Estas especies pueden considerarse de alto riesgo ambiental y deberían ser objeto de particular interés por parte de los organismos de control de biotecnología agrícola. En la Argentina existen dos cultivos con esas características: la colza y el girasol.

El caso de la colza

La colza se cultiva como oleaginosa en la Argentina desde hace más de tres décadas. Incluye las especies de crucíferas *Brassica napus*, cultivada principalmente como colza invernal y conocida como 'Argentine type'; y *B. rapa* (antes llamada *B. campestris*) tipo primaveral o 'Polish type'. Ambas son de origen europeo, pero la primera creció como cultivo a partir de la introducción a Canadá de semillas provenientes de la Argentina, hace cincuenta años. Desde el punto de vista de la ocupación de la tierra, compite con el trigo, por lo que no se han establecido superficies considerables de ese cultivo, a pesar del importante mejoramiento logrado en la calidad de su aceite y de las harinas de extracción, que le valió el cambio de nombre a 'canola'. En países más fríos constituye la única opción oleaginosa debido a su ciclo invernal, tal como ocurre en Chile. En nuestro país la única ventaja comparativa con el trigo podría derivar de la facilidad de control de malezas gramíneas de invierno, especialmen-



Figura 4. Girasol silvestre (*Helianthus petiolaris*) creciendo en la banquina de la ruta provincial 60, oeste de Buenos Aires, junto a un lote de girasol cultivado.

Cultivo	Pariente silvestre	Sitio de origen
Achicoria <i>Cichorium intybus</i>	Misma especie	Europa
Alfalfa <i>Medicago sativa</i>	<i>M. arabica</i> , <i>M. polymorpha</i> , <i>M. minima</i>	Asia Menor
Alpiste <i>Phalaris canariensis</i>	<i>P. minor</i> , <i>P. angusta</i> , <i>P. platensis</i> , <i>P. paradoxa</i>	Islas Canarias
Apio <i>Apium graveolens</i>	Apio cimarrón <i>A. leptophyllum</i>	Europa
Arroz <i>Oriza sativa</i>	Arroz colorado, misma especie	Asia
Avena <i>Avena sativa</i>	Cebadilla <i>A. fatua</i> , <i>A. barbata</i> , <i>A. sterilis</i>	Eurasia
Batata <i>Ipomoea batatas</i>	<i>I. tiliacea</i> , <i>I. fastigata</i> , <i>I. rubriflora</i> , <i>I. nil</i>	América Central, Antillas
Cardo comestible <i>Cynara cardunculus</i>	Cardo de castilla, misma especie	Cuenca del Mediterráneo
Cártamo <i>Carthamus tinctorius</i>	Cardo lanudo <i>C. lanathus</i>	Asia Menor
Colza-canola <i>Brassica napus</i> , <i>B. rapa</i> Repollo-coliflor-brócoli <i>B. oleracea</i>	<i>B. campestris</i> , <i>B. juncea</i> , <i>B. nigra</i>	Eurasia
Espárrago <i>Asparagus officinalis</i>	Misma especie	Europa
Frutilla <i>Fragaria chiloensis</i> y otras	Misma especie	Sudamérica
Girasol <i>Helianthus annuus</i>	Misma especie, <i>H. petiolaris</i>	Norteamérica
Hinojo <i>Foeniculum vulgare</i>	Misma especie	Europa
Lechuga <i>Lactuca sativa</i>	<i>Lactuca serriola</i>	Europa
Lupino <i>Lupinus albus</i>	<i>Lupinus mutabilis</i>	Europa
Maní <i>Arachis hipogaea</i>	Varias especies	Sudamérica
Papa <i>Solanum tuberosum</i>	<i>S. spegazzinii</i> , <i>S. gourlayi</i> , <i>S. chacoense</i> , <i>S. kurtzianum</i> y otras	América
Poroto, chaucha <i>Phaseolus vulgaris</i>	<i>Ph. aborigineus</i>	Sudamérica
Poroto manteca <i>Ph. lunatus</i>	Misma especie	Sudamérica
Remolacha, acelga <i>Beta vulgaris</i>	Misma especie	Cuenca del Mediterráneo
Sandía <i>Citrullus vulgaris</i>	Cayota <i>C. lanatus</i>	África
Sorgo <i>Sorghum bicolor</i>	Sorgo de alepo <i>S. halepense</i>	Asia
Tomate <i>Lycopersicon esculentum</i>	Misma especie, <i>L. pimpinellifolium</i>	Sudamérica
Tréboles <i>Melilotus albus</i> y <i>M. officinalis</i>	Mismas especies, <i>M. indicus</i>	Eurasia
Zanahoria <i>Daucus carota</i>	<i>D. pusillus</i> , misma especie	Eurasia
Zapallo <i>Cucurbita pepo</i> , <i>C. maxima</i> , <i>C. moschata</i>	Zapallito amargo <i>C. andreana</i>	América Central

Tabla 2. Algunas especies cultivadas y sus parientes silvestres, nativas o naturalizadas en la Argentina.

te *Avena fatua* y *Lolium multiflorum*, en lotes en que su control significaría un elevado costo de producción de trigo. Especies cultivadas y silvestres del género *Brassica* están estrechamente emparentadas, relacionadas entre sí por la similitud de sus cromosomas: las especies diploides *B. nigra* (mostaza cultivada o maleza), *B. oleracea* (brócoli, repollo, coliflor) y *B. rapa* o *campestris* (nabo silvestre y colza primaveral) de número cromosómico básico 8, 9 y 10 originaron por cruzamientos naturales las especies poliploides *B. carinata* (mostaza de Abisinia), *B. juncea* (maleza) y *B. napus* (colza o canola). La colza creciendo junto a sus parientes silvestres produce de 9 a 93% de progenie híbrida. Si bien es bajo, el riesgo de cruzamientos espontáneos también incluye a otras crucíferas como *Hirschfeldia* y *Sinapis* (mostacillas) y *Raphanus* (nabón), especies conocidas por su daño como malezas de los cultivos en la Argentina. Estas malezas son frecuentes en los campos de cultivo, praderas, bordes de caminos y alambrados.

En Canadá, las variedades de canola GM resistentes a herbicida mostraron un rendimiento 7,5% superior a las variedades tradicionales en 1996 y 1997. Ello, sumado a la facilidad de manejo del cultivo y a la reducción en el uso de herbicidas, hizo que la superficie cultivada pasara de 100.000 a 2,4 millones de hectáreas entre 1996 y 1998. En la Argentina, hasta 1997 se presentaron nueve solicitudes de ensayo de variedades transgénicas; sin embargo, por resolución de la SAGPYA 228/97 fue prohibida en nuestro país la producción de semilla de canola GM resistente a glifosato (evento GT73) debido al riesgo ambiental que significaría su liberación. Si la industria oleaginosa realmente presionara para tener un producto de molienda alternativo durante el verano, debería mejorar sustancialmente el precio y las condiciones de comercialización y apuntar a subsanar las restricciones para la liberación de la colza GM, lo que seguramente ayudaría a abaratar costos para eliminar las tan costosas

malezas gramíneas de muchos lotes de zonas marginales, donde los cultivos invernales son la única opción.

El caso del girasol

Paralelamente al crecimiento en producción de soja GM en los últimos años, el cultivo del girasol disminuyó en la Argentina casi el 30%, con una superficie sembrada en la última campaña apenas superior a dos millones de hectáreas. El avance de la soja hacia el sur y el oeste lo relegó a las tierras más pobres de las provincias de Buenos Aires, La Pampa y San Luis, en tanto los suelos fértiles de Santa Fe, Córdoba y Buenos Aires se dedicaron a la soja, de mayor estabilidad de rendimiento pero incapaz de explorar el suelo en profundidad. Influyeron las políticas de precios y los bajos rendimientos del girasol debido al ataque de enfermedades y competencia por malezas. El girasol encontró su nicho en suelos profundos y arenosos de zonas semiáridas, donde es capaz de explorar todo el perfil y extraer el agua y nutrientes acumulados por el barbecho. Mediante mejoramiento genético se han creado variedades transgénicas de girasol y CONABIA ha recibido ya 74 solicitudes de flexibilización, esto es, de permisos de ensayos a campo de variedades GM con resistencia a enfermedades fúngicas e insectos y tolerancia a herbicidas. Sin embargo, la autorización para su uso ha sido demorada en razón de los riesgos potenciales que podría acarrear para el ambiente la posibilidad de transferencia de genes a especies de girasol silvestre emparentadas.

El girasol cultivado, *Helianthus annuus* variedad *macrocarpus*, es originario de Norteamérica, donde existen unas

cincuenta especies del mismo género, muchas de ellas capaces de cruzarse naturalmente con él. Esta capacidad se ha explotado frecuentemente en el mejoramiento genético para transferir al cultivo caracteres silvestres que confieren ventajas agronómicas. En la Argentina existen especies de girasol silvestre, probablemente introducidas en forma accidental como 'impurezas', sus semillas mezcladas inadvertidamente en lotes de semillas importadas desde su centro de origen. Se han naturalizado y crecen formando extensas poblaciones en varias provincias. La más frecuente es *Helianthus petiolaris*, que coloniza suelos arenosos del oeste de Buenos Aires, La Pampa, San Luis y sur de Córdoba (figura 4). La segunda es *Helianthus annuus* ssp. *annuus*, considerada el antecesor silvestre del girasol cultivado; puede hallarse en el sur de Córdoba, noreste de La Pampa y oeste de Buenos Aires, Entre Ríos, Mendoza y San Juan (figura 3). Ambas se cruzan naturalmente con el girasol cultivado y especialmente la segunda es considerada una importante maleza de los cultivos de verano en Norteamérica. En nuestro país, al menos hasta el momento, no constituyen malezas importantes, pero esta situación podría cambiar eventualmente.

Ya que grandes extensiones de las provincias pampeanas se dedican al cultivo del girasol, existe la posibilidad de que genes del cultivo, propios o introducidos por ingeniería genética, sean transferidos al girasol silvestre a través del polen. Ambas especies silvestres, como el girasol cultivado, son anuales y alógamas (las flores son fecundadas por polen de otras plantas), vegetan en la misma época y son visitadas por los mismos insectos polinizadores, principalmente abejas. En nuestros viajes para estudiar las poblaciones de girasol silvestre, hemos encontrado numerosas evidencias de introgresión, el

proceso por el cual los cruzamientos naturales entre plantas resultan en una incorporación estable de genes de una especie en otra. El tipo de ramificación, el tamaño del capítulo y las características de la semilla indican que el flujo génico tiene lugar entre el girasol cultivado y las dos especies silvestres. Casi con certeza, genes de las variedades GM migrarán hacia las poblaciones de girasol silvestre si el cultivo de variedades transgénicas se populariza comercialmente, como ocurrió con la soja. La incorporación de material genético de una especie en otra diferente solamente es posible si los cromosomas de ambas pueden intercambiar genes por recombinación. En el caso de *H. annuus* ssp. *annuus*, sus cromosomas son idénticos a los del girasol cultivado y, por lo tanto, no existen



Figura 5. Achicoria silvestre en flor, creciendo junto a la ruta nacional 3 en las afueras de Bahía Blanca.

barreras para ese intercambio. En tanto *H. petiolaris* tiene el mismo número cromosómico que el girasol cultivado, pero diez de los diecisiete pares de cromosomas difieren en el orden en que los genes se encuentran dispuestos a lo largo del cromosoma, por lo que la recombinación génica se vería limitada a los siete pares restantes, cuya disposición de los genes es semejante en ambas especies. Uno de los objetivos de nuestros ensayos es determinar a qué distancia es llevado el polen del girasol cultivado por abejas y otros insectos y qué proporción de flores de girasol silvestre resulta polinizada. Otro aspecto del proyecto, que compartimos con colegas de la Unidad Integrada INTA Balcarce-Universidad Nacional de Mar del Plata, es el estudio de los cromosomas de estas especies y de híbridos entre ellas.

La incorporación de un solo transgén en una población silvestre no necesariamente alterará su comportamiento ecológico y la convertirá en una maleza. Podría afectar negativamente su aptitud biológica o no tener ningún efecto. En el caso del sorgo de Alepo y otros similares documentados, la evolución rápida de las características invasivas fue probablemente el resultado de la acción de muchos genes de ambas especies parentales, que interactuaron y contribuyeron de distintas maneras al resultado. El estudio de este fenómeno debe contemplar tanto aspectos del organismo como del hábitat y las complejas interacciones genotipo-ambiente. Una forma de comenzar sería comparar el crecimiento y la producción de semillas en plantas silvestres transgénicas y no transgénicas. La duración del ciclo de vida en cada una de sus etapas –germinación, plántula, período vegetativo, floración, maduración del fruto– puede dar indicación de las etapas más afectadas por los efectos del gen adquirido. Afortunadamente, un transgén es una construcción genética exhaustivamente estudiada; se conoce de antemano su expresión y su diseño molecular, lo que proporciona importantes pistas acerca de las funciones que podría afectar en su nuevo huésped.

Perspectivas futuras

El estudio del impacto ambiental causado por el uso de cultivos transgénicos es complejo y su abordaje, claramente interdisciplinario. Debe ser realizado como paso previo a la liberación del OGM y monitoreado permanentemente luego de ello. La importancia de la integración de equipos científicos formados por biólogos, agrónomos, bioquímicos, especialistas en plagas, en suelos, en cultivos, en malezas, radica en generar capacidad para interpretar sin pánico las modificaciones que seguramente ocurrirán en el ambiente y diseñar los mecanismos correctivos para minimizar un impacto adverso. La participación de estudiantes de distintos niveles les dará la oportunidad de iniciarse en la investigación



Figura 6. Estudiantes durante una demostración de siembra directa, preparada por ellos mismos, en campos del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

científica de la problemática ambiental, que tan atractiva resulta, y crear en ellos la justa sensibilidad, que equilibre la necesidad de custodia del ambiente con el compromiso de alimentar y generar bienestar a la población. En la Argentina requerirá de la cooperación entre las empresas semilleras, que poseen las variedades GM y las patentes de los eventos de transformación, el gobierno a través de la SAGPYA, CONABIA y otros representantes del sector público, especialmente las universidades y el INTA. Los intereses nacionales deberán considerar equilibradamente el producto bruto agropecuario y la conservación de la biodiversidad, sin ceder a ningún tipo de presiones. La producción de información, la transferencia del conocimiento a todos los niveles y el uso de instrumentos de evaluación ambiental acordes con el desafío de producir más y mejor son las verdaderas bases de la riqueza nacional. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

CONABIA en internet: www.sagpya.mecan.gov.ar

SNOW AA & MORAN PALMA P, 1997,

'Commercialization of transgenic plants: Potential Ecological Risks', *BioScience*, 47 (2): 86-96.

SNOW AA, RIESEBERG LH, ALEXANDER HM,

CUMMINGS C & PILSON D, 1998, 'Assessment of gene flow and potential effects of genetically engineered sunflowers on wild relatives', 5th. International Biosafety Symposium, Branschewig, Germany.

USDA Animal and Plant Health Inspection Service

(APHIS) en internet: www.aphis.usda.gov/ppq/biotech

Aplicación de herbicida luego de la implantación. Foto Chafer Machinery, Flickr.com.



Francisco BedmarFacultad de Ciencias Agrarias
Universidad Nacional de Mar del Plata

¿Qué son los plaguicidas?

Los plaguicidas, también llamados pesticidas, son sustancias destinadas a combatir plagas o pestes. Surgieron por la necesidad de manejar poblaciones de organismos nocivos para la sanidad humana, la de cultivos o frutos almacenados y la de animales domésticos. En realidad, el término *plaga* tiene una connotación antropocéntrica ya que, consideradas objetivamente, las plagas son simplemente poblaciones integrantes de un ecosistema.

Los plaguicidas son sustancias químicas –orgánicas, inorgánicas o microbiológicas– líquidas o sólidas que producen efectos tóxicos sobre ciertos organismos vivos. Se utilizan principalmente para controlar plagas de la agricultura. En los Estados Unidos el 75% de los plaguicidas se usaron para ese propósito en 1993.

Las principales plagas agrícolas incluyen: (i) plantas no cultivadas o malezas; (ii) insectos, artrópodos y vertebrados que se alimentan de los cultivos, y (iii) agentes patógenos, así llamados porque provocan enfermedades en los cultivos, entre ellos hongos, virus y bacterias. Los más perjudiciales son las malezas, los insectos y los hongos. La magnitud de pérdidas de producción que pueden ocasionar depende de la plaga, del cultivo y de la región geográfica. Las pérdidas pueden ser potenciales –aquellas que ocurrirían, sin prácticas de protección de los cultivos, con respecto al rendimiento esperado– o reales –aquellas que se producen aun cuando se recurra a prácticas de protección–. Si bien las malezas ocupan el

primer lugar en cuanto a pérdidas potenciales, en ciertos casos, como la papa, las enfermedades tienen casi igual importancia, mientras en el algodón se destacan las plagas animales (figura 1).

La eficacia de las prácticas de control varía según el organismo de que se trate. Como se ve en la figura 2, es decreciente en función de que la plaga sea una maleza, un insecto, un hongo o un virus. Las pérdidas potenciales y reales dependen de factores geográficos como diferencias de la calidad del suelo, el clima y el desarrollo socioeconómico del contexto productivo. Las mayores pérdidas potenciales y reales suelen presentarse en África, donde las medidas de control resultan menos eficaces que en otros continentes.

Algo de historia

Desde el comienzo mismo de la agricultura, asociado con el inicio de la vida sedentaria de los humanos, los cultivos padecieron el ataque de plagas que los diezaban, y reducían drásticamente la producción y el acopio de alimentos. A partir del invento de la escritura y a lo largo de los siglos numerosos textos se han referido a ataques de insectos, hongos, roedores y otros agentes. Para evitar o reducir los daños, desde hace milenios se han empleado sustancias que podrían considerarse los precursores de los plaguicidas, como azufre,

flores de piretro y arsenitos. Pertenecen a la era de los productos naturales.

Con la Revolución Industrial comenzó la era de las fumigaciones, frecuentemente con derivados del petróleo. Se caracterizó por el uso de productos simples como el famoso caldo bordelés (una mezcla de sulfato de cobre con cal), el verde de París (acetoarsenito de cobre), los ácidos carbónico y fénico, el bromuro de metilo y el disulfuro de carbono, entre otros.

Desde mediados de la década de 1920 comenzó la era de los productos sintéticos con la preparación y el uso en los Estados Unidos de compuestos derivados de nitrógeno gaseoso o dinitroderivados. En este período se crearon todos los productos sintéticos hoy en uso. El crecimiento exponencial de ese uso se produjo durante la Segunda Guerra Mundial, cuando se difundió un insecticida basado en cloro, el DDT. En 1945 se comenzaron a vender en dicho país insecticidas similares, llamados *aldrin*, *clordane* y *heptacloro*, así como el herbicida 2,4-D, cuya mezcla con el 2,4,5-T se denominó *agente naranja* y se empleó como defoliante durante la guerra de Vietnam. Desde entonces se creó por síntesis química un gran número de sustancias plaguicidas, pero también la experiencia de su uso, el conocimiento de cómo funcionan en los ecosistemas y el afloramiento en la sociedad de la conciencia ambiental llevaron a la prohibición de muchos de los más antiguos.

¿Cómo se clasifican los plaguicidas?

Entre los diferentes criterios posibles, los dos más utilizados son: (i) por tipo de plaga, o (ii) por estructura



Dos estadios del insecto *Agraulis vanillae*: oruga del maracuyá y mariposa espejitos. El área de dispersión del insecto, en la que es muy común, se extiende desde la Argentina hasta el sur de los Estados Unidos. Se alimenta de los maracuyás silvestres y cultivados (*Passiflora spp.*). Los adultos tienen olores que repelen a los pájaros, además de ser tóxicos, de modo que escapan de su predación. Del estadio de larva u oruga de unos 4cm, pasa al de la atractiva mariposa. Foto izquierda, Carlos Ballaré; foto derecha, Calibas, Wikimedia Commons.

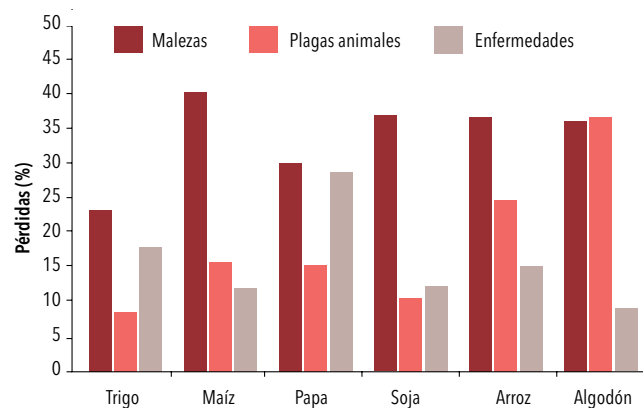


Figura 1. Pérdidas de producción potencial ocasionadas por malezas, plagas animales (artrópodos, nematodos, roedores, pájaros y moluscos) y enfermedades (hongos, bacterias y virus) en seis de los principales cultivos mundiales (adaptado de EC Oerke, 2006).

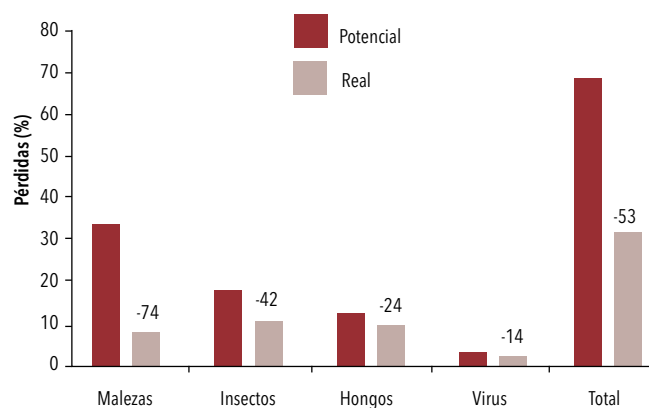


Figura 2. Eficacia mundial promedio de los plaguicidas en la reducción de pérdidas potenciales causadas por malezas, plagas animales y enfermedades en trigo, maíz, papa, soja, arroz y algodón (adaptado de Oerke, 2006). Las barras indican las pérdidas potencial y real sumando las de los diferentes agentes causales. Los números negativos indican la relación porcentual entre la pérdida potencial y la real.

química. En la actualidad prevalecen las sustancias utilizadas para controlar malezas, insectos, hongos y ácaros. Un caso particular son los llamados *curasemillas*, principalmente fungicidas o insecticidas, que solo se utilizan para tratar semillas en espera de la siembra.

La clasificación según la estructura química toma en cuenta una gran variedad de grupos o familias de compuestos. Los insecticidas organofosforados, que forman una de las familias más numerosas, suman 58 productos distintos, mientras que en el otro extremo, la familia de glicinas posee un único integrante, el glifosato. Una de las principales ventajas de clasificar a los plaguicidas según su estructura química es que permite identificar sustancias que suelen tener similares efectos en las plagas y el ambiente. Una de las clasificaciones más utilizadas combina el grupo químico con el modo o mecanismo de acción en las plagas (tabla 1).

Tipo de producto	Modo o sitio de acción	Grupo químico
Insecticidas	Interferencia del sistema nervioso	Organoclorados, organofosforados, carbamatos
		Piretroides, piretrinas, fiproles-fenilpirazoles
		Avermectinas, nicotinoides-nitrometilenos
		Nicotina
	Reguladores del crecimiento	Benzoil-fenilureas, benzamidas, benzoil-hidrazinas
	Toxinas alimentarias	Bacteria (<i>Bacillus thuringiensis</i>)
Fungicidas	Sistema respiratorio	Fosfuros, bromuros, etcétera
	Tóxicos físicos	Aceites minerales, tierra de diatomeas, geles de sílice
	Inhibición de la síntesis de ácidos nucleicos	Fenilamidas, pirimidinas, derivados de hidrocarburos aromáticos, carboximidias
		Derivados del benzimidazol
	Mitosis y división celular	Ditiocarbamatos, benzimidazoles
		Fenilureas, benzamidas
	Respiración: inhibición de la producción de ATP en los procesos enzimáticos del metabolismo energético	Carboximidias, quinonas, cúpricos, arsenicales, derivados del estaño, disulfuros, ditiocarbamatos, estrobirulinas
	Síntesis de aminoácidos y proteínas	Anilino pirimidinas
	Transducción de señales	Quinolinas, fenilpirroles, dicarboximidias
	Síntesis de lípidos y membrana	Dicarboximidias, hidrocarburos aromáticos
		Clorofenoles, nitroanilinas, ditiocarbamatos, amidias
	Biosíntesis de esteroles en las membranas	Morfolinas, triazoles
	Alteración de la estructura celular	Dodecilguanidina
Acción múltiple	Cúpricos, sulfúricos, ditiocarbamatos, ftalamidas, cloronitrilos, sulfamidias, guanidinas, triazinas, quinonas	
Inhibición de la acetil coenzima A carboxilasa	Ariloxi-fenoxi, ciclohexanodionas	
Herbicidas	Inhibición de la acetil lactato sintetasa	Imidazolinonas, sulfonilureas, sulfonamidias
	Inhibición de la formación de microtúbulos	Dinitroanilinas
	Auxinas sintéticas	Clorofenóxidos, derivados del ácido benzoico
		Ácidos piridín carboxílicos, ácidos quinolín carboxílicos
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II	Triazinas, triazinonas, uracilos, ureas sustituidas, benzotiadiazonas, carbamatos, amidias
	Inhibición de la fotosíntesis en el fotosistema II y respiración	Benzonitrilos
	Inhibición de la protoporfirinógeno oxidasa	Difeniléteres, N-fenilftalamidas, oxadiazoles
		Triazolinonas
	Inhibición de la síntesis de lípidos	Tiocarbamatos
	Desviación del flujo electrónico en el fotosistema I	Bipiridilos
	Inhibición de la síntesis de carotenoides	Isoxasoles, nicotinanilidas, otros
	Inhibición de la síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos y división celular	Acetanilidas
	Interferencia en la actividad enzimática y precipitación de proteínas	Carboxílicos aromáticos
	Interferencia en el metabolismo del fósforo	Arsenicales
Inhibición de la enolpiruvil shikimato-fosfato sintetasa	Glicinas	

Tabla 1. Grupos químicos de insecticidas, fungicidas y herbicidas agrupados por su modo de acción (documento de la cátedra de terapéutica vegetal, Facultad de Ciencias Agrarias, UNMDP).

El mercado de plaguicidas

El mercado de los plaguicidas está dominado desde hace tiempo por los herbicidas, a los que siguen insecticidas y fungicidas. En 2005, sobre un mercado mundial de 31.190 millones de dólares, el 47% correspondió a los primeros, y respectivamente el 25% y el 24% a los otros dos.

En la Argentina el mercado alcanzó los 1308 millones de dólares en 2009, de los cuales el 63% correspondió a herbicidas, el 20% a insecticidas y el 9% a fungicidas (tabla 2). Considerando la cantidad de cada plaguicida,

el 77% correspondió a herbicidas, el 12% a insecticidas, el 4% a acaricidas y el 3% a fungicidas. En el conjunto se destaca el peso del herbicida glifosato, que representó el 42,3% del mercado global de plaguicidas, por razones que consideraremos más adelante.

Plaguicidas por tipo de cultivo

Los plaguicidas se utilizan en una gran variedad de cultivos y otras actividades agropecuarias. En general,

las cantidades aplicadas dependen del cultivo, lo que está vinculado con el predominio y la importancia del tipo de plaga en cada cultivo o actividad. Por ejemplo, para proteger granos almacenados, cuya plaga predominante son los insectos, prevalecen los insecticidas (tabla 3).

En la Argentina, los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol, más los controles de malezas entre cultivos sucesivos, conocidos por *barbechos* químicos, concentraron en 2009 el 81% de la facturación de plaguicidas, mientras que el 19% restante se utilizó para maní, frutales de pepita y carozo, cítricos, pasturas, hortalizas, papa, algodón, tabaco, caña de azúcar, arroz, vid, poroto, granos almacenados y otros. El cultivo de soja reunió casi el 38% de esa facturación, seguido por los *barbechos* químicos con 23% y el maíz con 10%. Los herbicidas se aplicaron sobre todo en los cultivos de arroz, pasturas, girasol, maíz, soja, maní, poroto y trigo, mientras que los insecticidas predominaron en el manejo de granos almacenados y en cultivos de frutales de pepita y carozo, de algodón, tabaco y hortalizas. Finalmente, los fungicidas fueron dominantes en los cultivos de vid, papa, caña de azúcar y cítricos.

Toxicidad

Todos los plaguicidas son o pueden ser tóxicos para el ser humano y los animales, pero lo son en distintos grados y la toxicidad aparece por encima de ciertos umbrales. La toxicidad es la capacidad intrínseca de una sustancia química de producir daño o incluso la muerte. Depende de los compuestos químicos incluidos en el plaguicida y del organismo expuesto a este. Sus factores cruciales son la dosis y el tiempo de exposición. Otro artículo de este número ('Plaguicidas y salud humana') discute la toxicidad para las personas.

Se habla de *toxicidad aguda* cuando los daños ocurren en horas o minutos de una única exposición a dosis relativamente elevadas. Esos daños, sin embargo, pueden ser reversibles. Por convención internacional, se llama *dosis letal media*, simbolizada por DL50, a la cantidad de sustancia que causa la muerte del 50% de un grupo de animales, generalmente ratas o conejos, expuestos a ella en condiciones controladas. En los casos de ingreso del plaguicida en el organismo por las vías oral o dermal, la DL50 se expresa en miligramos de la sustancia activa por kilogramo de peso del animal. Cuando el ingreso es por inhalación, la equivalente medida de la toxicidad se conoce como *concentración letal media* (CL50) y se expresa en miligramos de la sustancia por litro de aire o agua, o como partes por millón (ppm) en esos medios. La segunda forma de expresar la toxicidad prevalece en estudios de organismos acuáticos o en ambientes cerrados.

Sobre la base de la DL50 aguda oral o dermal, la Organización Mundial de la Salud estableció en 1975 una clasificación de la toxicidad de los plaguicidas que fue adoptada en la Argentina (tabla 4). Ella los agrupa en cinco categorías toxicológicas, que determinan las cuatro bandas de color que deben figurar en la etiqueta o marbete de los envases para advertir al usuario sobre el riesgo del producto.

El riesgo toxicológico se define como la probabilidad de que una sustancia produzca daño o incluso la muerte. Es muy importante hacer notar que la clasificación toxicológica de un plaguicida depende de la forma en que esté incluido el agente activo en el producto comercial. Por ello, todo fabricante debe proveer información sobre la DL50 de dicho agente y su concentración en el producto que fabrica.

Los plaguicidas cuya acción afecta procesos biológicos comunes a plagas y humanos son los más riesgosos para estos. El caso típico son los insecticidas neurotóxicos que actúan sobre la transmisión del impulso nervioso, común a insectos y personas. De esa categoría son los insecticidas organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides y nicotinoides, entre otros. Otros plaguicidas sumamente tóxicos para animales de sangre caliente son los rodenticidas, en su gran mayoría anticoagulantes, que resultan clasificados en las categorías Ia y Ib. Los insecticidas suelen caer principalmente en las clases Ib y II, mientras que los fungicidas, herbicidas y acaricidas ocupan en su gran mayoría las clases II, III y IV de la tabla 4. Se puede advertir que el 15% de los plaguicidas caen en las categorías más riesgosas (Ia y Ib); el 38% de ellos lo hace en la moderadamente peligrosa (II), casi el 18% resulta poco peligroso (III) y cerca de un 30% no ofrece peligro (IV).

Además de la toxicidad en el corto plazo, existe otra que se manifiesta al cabo de períodos medianos o largos, conocida como *toxicidad no aguda*. Sus síntomas se presentan luego de una exposición a pequeñas dosis a lo largo de mucho tiempo. Sus daños pueden ser irreversibles. Se habla de intoxicaciones *subagudas*, provocadas por re-

Plaguicida	Cantidad comercializada (millones de kg)	Valor facturado (millones de dólares)
Herbicidas	200,80	824,11
Insecticidas	30,32	259,29
Fungicidas	6,80	120,59
Acaricidas	9,24	8,95
Curasemillas	3,49	73,06
Otros	9,89	22,18
Total	260,54	1308,18

Tabla 2. Mercado argentino de plaguicidas en 2009, según la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (http://www.casafe.org/web_css/mediciondemercado.htm).

Cultivo	% en dinero							Total de cada cultivo
	Total	Herbicidas	Insecticidas	Fungicidas	Acaricidas	Curasemillas	Otros	
Soja	37,50	58,00	26,20	10,10	0,00	1,40	1,40	100,00
Barbecho	23,40	98,90	0,30	0,20	0,00	0,00	0,00	100,00
Maíz	10,30	60,50	19,10	1,30	0,10	1,90	1,90	100,00
Trigo	4,30	44,60	12,20	28,00	0,00	0,60	0,60	100,00
Girasol	5,70	61,70	20,70	0,40	0,00	0,90	0,90	100,00
Maní	2,50	54,70	2,20	37,90	0,00	0,10	0,10	100,00
Frutales pepita	1,70	6,20	70,20	10,10	8,90	0,00	0,00	100,00
Cítricos	1,50	28,00	15,30	39,80	16,70	0,00	0,00	100,00
Pasturas	1,90	84,20	13,90	0,00	0,00	0,03	0,03	100,00
Hortalizas	2,30	18,30	52,00	19,20	5,30	0,00	0,00	100,00
Papa	1,30	21,10	16,90	52,90	0,60	0,10	0,10	100,00
Algodón	1,60	21,00	63,20	1,20	0,00	0,10	0,10	100,00
Tabaco	0,70	3,70	63,00	5,20	0,50	0,03	0,03	100,00
Frutales carozo	1,10	12,30	60,10	13,50	13,40	0,00	0,00	100,00
Caña	0,80	47,60	3,60	48,60	0,00	0,00	0,00	100,00
Arroz	0,60	94,60	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03	100,00
Vid	0,60	7,20	12,70	73,10	0,00	0,00	0,00	100,00
Poroto	0,60	45,90	23,40	27,10	0,00	0,02	0,02	100,00
Granos almacenados para consumo	0,30	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
Otros	1,40	1,40	31,70	33,90	3,00	0,00	30,50	100,00
Total	100,00							

Tabla 3. Utilización de los plaguicidas en la Argentina por cultivo o actividad, adaptado de información proporcionada por la Cámara de Sanidad Agropecuaria y Fertilizantes (http://www.casafe.org/web_css/mediciondemercado.htm). Cada porcentaje fue calculado con los valores en dólares facturados para cada cultivo y tipo de plaguicida. De ahí se obtuvieron los valores totales por cultivo. El valor total del mercado, que indica la tabla 2, es de 1308,18 millones de dólares.

petidas dosis recibidas a lo largo de un mes; *subcrónicas*, producto de dosis recibidas durante uno a tres meses, y *crónicas*, por exposiciones durante doce meses o más. Los efectos de las intoxicaciones crónicas pueden ser neurológicos, reproductivos, cutáneos, oftalmológicos, hepáticos, cancerígenos, mutagénicos, teratogénicos, endocrinos y otros.

A diferencia de las intoxicaciones agudas, para las crónicas no se cuantifica el peligro de un único contacto, ya que resultan de exposiciones continuas a pequeñas dosis, principalmente por alimentos, agua potable o aire contaminados. Se calcula, en cambio, la cantidad de un plaguicida que puede ser ingerida a lo largo de la vida sin crear riesgos apreciables para la salud. Ese valor se conoce como la *ingesta diaria admisible* y se expresa en miligramos diarios del pesticida por kilogramo de peso corporal. Para calcular ese valor se parte de la dosis máxima que no produce efectos adversos, conocida como *nivel sin efecto adverso observado* o NOEL (por *non observed adverse effect level*), que se expresa en miligramos del pesticida por kilogramo de peso corporal. La dosis diaria admisible

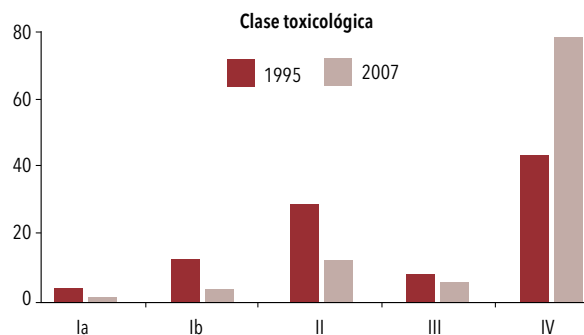


Figura 3. Plaguicidas comercializados en la Argentina en 1995 y 2007, en porcentajes de cada clase toxicológica (adaptado de CASAFE, 2009).

es igual a NOEL dividido por un factor de seguridad. Permite establecer la cantidad de plaguicida que los seres humanos pueden ingerir durante toda la vida en los alimentos o en el agua sin que se anticipen daños. Ese valor se conoce como *tolerancia* o *límite máximo de residuos*, y está definido para una gran variedad de alimentos y plaguicidas.

Clasificación de los riesgos de los plaguicidas	Dosis letal media del ingrediente activo (mg/kg vivo) que causa la muerte del 50% de los animales experimentales (DL 50)			
	Forma líquida		Forma sólida	
	Oral	Dermal	Oral	Dermal
Clase I a. Producto sumamente peligroso	20 o menos	40 o menos	5 o menos	10 o menos
Clase I b. Producto muy peligroso	20 a 200	40 a 400	5 a 50	10 a 100
Clase II. Producto moderadamente peligroso	200 a 2000	400 a 4000	50 a 500	100 a 1000
Clase III. Producto poco peligroso	2000 a 3000	mayor de 4000	500 a 2000	mayor de 1000
Clase IV. Producto que normalmente no ofrece peligro	mayor de 3000		mayor de 2000	

Tabla 4. Clasificación del riesgo toxicológico de los plaguicidas según la Organización Mundial de la Salud.

Plaguicidas con bajo efecto ambiental

Desde la aparición de los primeros plaguicidas sintéticos hace unas nueve décadas, se ha ido evolucionando hacia la síntesis de productos menos riesgosos. Los avances más notorios en ese sentido se produjeron para los insecticidas. En los últimos años se han desarrollado insecticidas organofosforados y piretroides que quedaron enmarcados en las clases toxicológicas III y IV. Incluso se ha avanzado en la síntesis de insecticidas de otros grupos químicos con mecanismos de acción no neurotóxicos, como las benzoilfenilureas y las benzamidas, que actúan como inhibidores de la síntesis de quitina, o las benzoilhidrazinas, que aceleran la muda de los insectos. Todos estos presentan muy bajo riesgo toxicológico para el ser humano.

El proceso de síntesis de productos más seguros fue acompañado por una reducción de su espectro de acción, con el correspondiente incremento de su especificidad.



Plantas de soja que padecen de oidio o mal blanco y de roya, producidos por distintas especies de hongos. La primera infección se advierte en las manchas blancas; la segunda en los puntos amarrados o negruzcos. Foto Ana María Romero

Un ejemplo notorio es la bacteria *Bacillus thuringiensis*, usada como plaguicida microbiológico. Produce cristales tóxicos que dañan a cierto grupo de insectos que se alimentan de los cultivos. Hoy se ha logrado incorporar al genoma de ciertos cultivos, como maíz, algodón y soja, un gen propio de dicha bacteria que produce en ellos el mismo efecto sobre los insectos y elimina la necesidad del insecticida. El lanzamiento comercial de soja con esa característica todavía no tuvo lugar en la Argentina.

Debido a que los herbicidas y fungicidas, excepto algunos, son menos tóxicos que los insecticidas, para ellos la reducción del riesgo toxicológico no ha sido tan notoria. De todas maneras, con los herbicidas también se evolucionó hacia la síntesis de productos menos ofensivos, por ejemplo, los que tienen como base sulfonilureas, imidazolinonas o glicinas, que poseen muy poco riesgo toxicológico medido por la DL50 oral aguda. El representante más notorio de las últimas es el glifosato. Algo similar ocurrió con los fungicidas, entre los que puede citarse una nueva generación de productos con bajo riesgo, como las estrobirulinas.

En consonancia con esta reducción mundial de los valores de DL50 de las sustancias más recientes, en el mercado argentino de plaguicidas hubo una evolución similar. En 1995 se comercializaron en el país 73 millones de kilogramos; ese año el 17% de los plaguicidas pertenecía a las clases más riesgosas (Ia y Ib). En 2007, cuando se transaron 254 millones de kilos, ese valor había descendido al 4%, mientras que el 78% de los plaguicidas estaba encuadrado en la clase IV.

Un aspecto importante es la permanencia del plaguicida en el ambiente. Los primeros insecticidas se caracterizaban por su elevada persistencia ambiental. Ese era el caso de los insecticidas organoclorados, la primera familia química de insecticidas sintéticos. Entre los principales compuestos activos de esa familia están el DDT y sus análogos (metoxicloro, clorobencilato y dicofol) y los derivados ciclodienos (aldrin, dieldrin, endrin, lindane, clordano, heptacloro y endosulfan). De todos, el único que continúa en uso en la Argentina, aunque fuertemente cuestionado, es endosulfan. Los demás fueron prohibidos en distintos momentos, puesto que son pla-

guicidas de baja volatilidad, elevada estabilidad química y solubilidad en lípidos, así como baja tasa de biotransformación y degradación, todo lo cual se traduce en su alta persistencia en el ambiente. Sin embargo, el DDT, que tiene bajo costo y gran eficacia, fue nuevamente autorizado en varios países para controlar insectos transmisores de malaria.

Hoy todos los plaguicidas se encuentran en continua revisión en cuanto a su comportamiento toxicológico y ecotoxicológico. Ello es especialmente importante para los más antiguos, dado que en su época no estuvieron sujetos a las mismas exigencias de autorización que los actuales.

El caso del glifosato

El glifosato se destaca entre los plaguicidas modernos, ya que posee casi el 50% del mercado de esos productos. Fue descubierto en los Estados Unidos en 1970; lo puso en el mercado en 1974 la empresa Monsanto con el nombre de Roundup. Tiene efecto sobre un amplio espectro de malezas anuales, perennes y leñosas, y circula muy bien por el sistema vascular de las plantas una vez que penetró en ellas. Si alcanza el suelo, es retenido en sus partículas, por lo que tiene escasa movilidad. Por ese motivo, se aplica solo al follaje.

Sin embargo, en ciertas condiciones que combinan siembra directa, suelos húmedos y lluvias inmediatas a su aplicación, puede llegar al agua subterránea. Por su excelente efectividad en diversas situaciones, su bajo precio al haber expirado la patente de la firma mencionada que lo creó, la difusión de la siembra directa y la aprobación de cultivares transgénicos de soja, maíz y al-



En el lote de la izquierda se advierte el efecto del glifosato, el que está ausente en el de la derecha, que no fue tratado con el herbicida. Foto Southeast Purdue Agricultural Center

godón tolerantes a sus efectos, el glifosato se ha convertido en el plaguicida más utilizado en la Argentina y en varios países del mundo, entre ellos los Estados Unidos y el Brasil.

Dado que la DL50 oral aguda del glifosato es de 5600mg/kg, cae en la categoría IV, es decir, entre los productos que normalmente no ofrecen peligro. Su uso masivo en la Argentina y otras regiones y algunas dudas sobre sus escasos efectos perjudiciales para el ser humano y el ambiente han dado origen a una multiplicidad de estudios toxicológicos, ecotoxicológicos y de otra índole (como adsorción y degradación en el suelo, lixiviación al agua subterránea, escurrimiento hacia aguas superficiales y otros). Quedan pues abiertos interrogantes sobre el uso futuro del producto. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

ARREGUI MC y PURICELLI E, 2008, *Mecanismo de acción de plaguicidas*, Dow AgroSciences Argentina, Buenos Aires.

BARBERÁ C, 1976, *Pesticidas agrícolas*, Omega, Barcelona.

CÁMARA DE SANIDAD AGROPECUARIA Y FERTILIZANTES (CASAFE), 2009, *Guía de productos fitosanitarios para la República Argentina*, Buenos Aires.

KLAASSEN CD, 2008, *Casarett and Doull's toxicology: the basic science of poisons*, McGraw-Hill, Nueva York.

OERKE EC, 2006, 'Crop losses to pests', *The Journal of Agricultural Science*, 144: 31-43.

SERVICIO NACIONAL DE SANIDAD Y CALIDAD AGROALIMENTARIA

(SENASA), 1998, *Límites máximos de residuos de plaguicidas*, Editar, Buenos Aires.

STENERSEN J, 2004, *Chemical pesticides: Mode of action and toxicology*, CRC Publisher, Nueva York.

WAXMAN MF, 1998, *Agrochemical and pesticide safety handbook*, CRC Press, Boca Ratón, Florida.

INTERNET

http://www.casafe.org/web_css/pdf/glifosatoinfoconicet09.pdf

<http://www.senasa.gov.ar>

www.who.int/ipcs/publications/pesticides_hazard_2009.pdf



Una vaquita de San Antonio (probablemente *Coccinella septempunctata*). Adviértanse los pulgones sobre la planta.
Foto Wikimedia Commons

Guillermo Cabrera Walsh y Juan Briano
Fundación para el Estudio de Especies Invasivas

Alba Enrique de Briano
Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria

El control biológico de plagas

Las plagas y su origen

De las varias definiciones de plaga que se han ensayado, la más satisfactoria a nuestro juicio es un *organismo que prolifera en un lugar inconveniente*. Las plagas –animales, vegetales o microbianas– son a menudo responsables de importantes daños a la producción de alimentos y fibras, a la salud humana y a los ecosistemas.

Todos los seres vivos enfrentan limitantes o controles naturales para su reproducción y desarrollo, entre ellos la escasez de alimentos, nutrientes, luz, espacios para procrear o protegerse, que deben disputar con organismos competidores. También los limita la presencia de depredadores, que se alimentan de ellos, y la de parásitos, que los infectan, debilitan o matan. En ocasiones, al faltar en un ecosistema alguno o varios de esos controles naturales, determinados organismos se vuelven muy abundantes en su propio hábitat, o se expanden a otros hábitats. En ambos casos, se hacen *invasores* y, en ocasiones, se convierten en plagas. Pero no suele bastar la ausencia de controles naturales para que un organismo prolifere y se haga invasor: a esa ausencia es común que se agreguen factores de origen humano (o antropogénicos).

Los organismos invasores pueden ser nativos de la región o ajenos a ella o *exóticos*. La decisión de combatirlos o ignorarlos se basa normalmente en consideraciones económicas. Por ello, las plagas agropecuarias son por lo general combatidas, mientras que las plagas ambientales son ignoradas. Sin embargo, hay muchas especies

que, al invadir un ambiente que no es el suyo, desplazan a especies nativas, perjudican a otras dependientes de las anteriores y perturban el funcionamiento del ecosistema. De muchas de esas invasiones se hace caso omiso porque su control demandaría una inversión enorme.



Figura 1. Avispa de chaqueta amarilla (*Vespa germanica*). Mide unos 13mm. Foto Juan Emilio, Málaga.

Un buen ejemplo de invasores exóticos en la Argentina es la acacia negra o de tres espinas (*Gleditsia triacanthos*), nativa de los Estados Unidos, que invade pastizales y ambientes costeros de arroyos y resulta muy difícil de controlar. Otro es la avispa chaqueta amarilla (*Vespa germanica*), de origen europeo, invasora en gran parte de los bosques del sur, cuya erradicación demandaría aplicar insecticidas en un área muy extensa (figura 1). Pero no siempre los organismos invasores son exóticos. Las actividades humanas provocan que organismos nativos también se vuelvan plagas. Se puede citar, entre otros, el camalote (*Eichhornia crassipes*) y varias especies de cotorras y palomas.

Por otra parte, las formas modernas de producción de alimentos no pueden prescindir de los plaguicidas, y la creciente población mundial no podría sostenerse sin esas formas modernas de producción. Pero los efectos negativos de los plaguicidas sobre la salud y el ambiente (discutidos en el informe especial publicado en el número 122 de CIENCIA HOY) obligan a buscar maneras alternativas de controlar las plagas, una de las cuales es el control biológico, que se vale de la acción de uno o varios de los enemigos o antagonistas naturales de la plaga de que se trate.

Tipos de control biológico

El control biológico puede acaecer en forma natural, cuando dichos enemigos naturales de una plaga limitan



Figura 2. Un coleóptero de la especie *Rodolia cardinalis*, de unos 7mm, natural de Australia, ataca a otro insecto, una cochinilla algodonosa (*Icerya purchasi*). Foto del sitio de la Universidad de California en Riverside: http://biocontrol.ucr.edu/rodolia/rodolia_icerya_biocontrol_galapagos.html.

su reproducción o desarrollo sin intervención humana. O puede ser un control aplicado, consecuencia de una selección y manipulación sobre bases científicas de esos enemigos naturales. El control aplicado procura corregir una situación anormal por la que la plaga escapó del control natural (o este resulta inadecuado).

El control biológico aplicado es de tres clases:

- Clásico o inoculativo. Consiste en introducir y establecer de manera permanente en el ecosistema un agente exótico para combatir una plaga también exótica.
- Inundativo. Consiste en criar masivamente el agente de control en laboratorio, para liberarlo al ambiente en grandes cantidades. No necesariamente procura su establecimiento permanente, pero busca el control inmediato de la plaga y se utiliza especialmente en cultivos bajo cubierta.
- Por conservación. Consiste en conservar y aumentar las poblaciones del agente de control mediante la manipulación del ecosistema, sea usando técnicas agrícolas que tengan ese efecto, sembrando o evitando que desaparezcan plantas hospedadoras del agente, o realizando cultivos que favorezcan su establecimiento y conservación.

Los tres tipos de control pueden utilizarse contra plagas agropecuarias y para vectores de enfermedades médicas y veterinarias. Para malezas se aplica mayormente control biológico clásico, el más antiguo y difundido, al que los autores hemos dedicado gran parte de nuestra labor profesional. No nos ocuparemos en lo que sigue de la llamada técnica del macho estéril ni de bioinsecticidas, cuyos desarrollos históricos fueron independientes, y merecen artículos propios.

Antecedentes y protocolos de seguridad

El uso intencional de animales para controlar otros organismos se remonta a la antigüedad, pero su empleo sobre bases científicas es mucho más reciente. El primer caso que registra la bibliografía data de 1858 y consistió en la liberación del coleóptero *Rodolia cardinalis*, natural de Australia, para combatir otro insecto, la cochinilla algodonosa (*Icerya purchasi*), que atacaba los cítricos en California (figura 2). Pero el control biológico no se consolidó como rama de la ecología aplicada hasta bien entrado el siglo XX.

Las bases científicas del control biológico de plagas lo diferencian de los conocidos episodios de introducciones de especies exóticas realizadas con la misma intención pero sin esas bases, que han causado desastres

CONTROL BIOLÓGICO DE CARDOS

En la Argentina podemos encontrar no menos de siete especies de cardos exóticos, originarios de Eurasia. Pertenecen a los géneros botánicos *Carduus*, *Silybum*, *Cirsium*, *Onopordon* y *Cynara*. Entre las primeras menciones conocidas de su presencia en el país se cuenta la hecha en la década de 1830 por Charles Darwin, quien en su diario del viaje del *Beagle* mencionó la profusión de densos cardales de *Cynara cardunculus* que vio en la Banda Oriental; también se encontró con la maleza en Entre Ríos y Buenos Aires, pero aclaró que nunca la vio al sur del río Salado. Hoy dos especies, el cardo platense (*Carduus acanthoides*) y el cardo pendiente (*C. thoermeri*), se comportan como invasores de campos de pastoreo, cultivos, bordes de caminos y áreas parquizadas en la pampa húmeda y la pampa semiárida.

A fines de la década de 1970, la estación del INTA en Castelar puso en marcha un programa de control biológico de cardos. En 1981 y 1982 efectuó importaciones, de los Estados Unidos y de Nueva Zelanda, del gorgojo *Rhinocyllus conicus*, que ya había sido utilizado con éxito en ambos países, lo mismo que en Canadá y Sudáfrica. Es un insecto originario de Europa, el este de Asia y el norte de África. Sus larvas se desarrollan dentro de la inflorescencia de los cardos y disminuyen la producción de semillas. Los adultos se alimentan de las hojas de esas plantas.

En los diez años posteriores, agencias del INTA, con la ayuda de productores agropecuarios interesados, realizaron 26 liberaciones del gorgojo en Anquil, Santa Rosa y Villa Iris (La Pampa); Rivadavia, Saladillo, Pergamino, Castelar, Hurlingham, Fortín Olavarría y Brandsen (Buenos Aires); San Cristóbal, La Pelada, San Guillermo y Venado Tuerto (Santa Fe); Tosquita y San Francisco (Córdoba) y Trelew (Chubut).

Para determinar el establecimiento y la dispersión del gorgojo en las zonas infestadas con cardo platense y cardo pendiente, en la primavera de 2006 se realizó un relevamiento a lo largo de 4000km de rutas troncales y caminos vecinales de Buenos Aires, Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba y La Pampa, que incluyó 121 sitios en banquetas, cunetas y bordes de alambrado. Se constató que el insecto se había establecido en el 91% de los sitios de liberación. Actualmente se lo encuentra en aproximadamente 370.000km², en Buenos Aires, este de La Pampa, sudeste de Córdoba, sur de Santa Fe, sur de Entre Ríos y este de Chubut. Está en el 81% de los lugares con cardo platense y en el 46% de los que tienen cardo pendiente. Se dispersó a una velocidad cercana a los 15km por año.

En un examen de detalle, se analizó el daño del gorgojo en cardo platense en una parcela de 600m² con alta infestación de un campo ubicado en Altamira, cerca de Mercedes. Se seleccionaron al azar y marcaron 70 tallos florales para estudiar la sincronía de los huevos del gorgojo con la floración del cardo. Se hicieron observaciones semanales desde mediados de octubre de 2006 hasta mediados de febrero de 2007. Distintas causas naturales, como vuelco de plantas, sequía y daños por roedores o pájaros, determinaron que solo se pudiera completar el estudio de 27 tallos. Se concluyó que de casi 6000 inflorescencias examinadas, el 9% resultó afectado por el gorgojo, que

en promedio redujo la superficie productora de semillas en el 15,5%. Los huevos del insecto solo afectaron la producción de semillas en los primeros meses de floración del cardo.

Debido a esta desincronización entre el ciclo del gorgojo y la floración del cardo platense, la magnitud del daño que causa el insecto no es suficiente para lograr una disminución sustancial en el área infestada por la maleza. De ahí que la acción del insecto requiere ser complementada con la de otros enemigos naturales de la maleza, con cortes de limpieza y posiblemente con el empleo de herbicidas. Por otra parte, el gorgojo no colonizó áreas al norte de los 32° de latitud sur.

En otros países, se ha logrado un adecuado control del cardo platense complementando el mencionado gorgojo con otro (*Trichosiocalus horridus*) cuyas larvas consumen los tejidos en crecimiento de la roseta y disminuyen el número de vástagos florales, inflorescencias y semillas, y cuyos adultos se alimentan de la roseta. Fue importado por el INTA de los Estados Unidos en 1982 y 1983, pero no se estableció en las parcelas experimentales.

Todavía no se han hecho evaluaciones del daño del gorgojo *R. conicus* en el cardo pendiente, pero en otros países, debido a una mejor sincronización de la puesta de huevos de ese insecto con la floración del cardo, su acción como único agente de control ha proporcionado excelentes resultados. Esos estudios están pendientes, lo mismo que la realización de nuevas introducciones y liberaciones del gorgojo *T. horridus* como complemento del primero para combatir el cardo platense.



Cardo platense (*Carduus acanthoides*). Foto National Education Network: <http://gallery.nen.gov.uk/asset62600-.html>

económicos y ambientales en varios lugares del mundo. Algunos elementos distintivos del control biológico de base científica son:

- No recurre a organismos con capacidad de modificar el paisaje, como vertebrados terrestres, animales sociales o plantas.
- No utiliza especies generalistas o que demuestren plasticidad en la selección y utilización de recursos.
- Evalúa a los agentes para cada región en que puedan ser liberados, porque las comunidades receptoras varían y difieren los eslabones de la nueva trama trófica. Así, un agente seguro para la región pampeana podría no serlo para América del Norte, y viceversa.
- No basa sus liberaciones en observaciones realizadas en el campo, sino en experimentos conducidos en forma controlada, diseñados para probar la seguridad del agente.

Esos experimentos se realizan sujetos a protocolos de seguridad, cuyo propósito es hacer mínimos los efectos negativos del control sobre especies que no son su objetivo o *blanco*. Para combatir malezas, la mayoría de los agentes a que se recurre son artrópodos que las comen u organismos que las infectan. Los protocolos que se aplican se basan en el sistema *centrífugo filogenético*, diseñado por el científico inglés Anthony Wapshere en 1974.

Consiste en exponer sucesivamente al posible agente del control biológico, para determinar si las consume, primero, a plantas del mismo género que el blanco del control; luego de la misma familia, después de familias botánicamente emparentadas, y así sucesivamente en la dirección del mayor alejamiento filogenético. El proceso se realiza para plantas solas y para grupos de ellas; se prueba en espacios confinados, semiabiertos y abiertos. Todo candidato a agente de control que ataque plantas de interés para el hombre es descartado. Esos estudios, que duran varios años, se complementan con otros de tipo biogeográfico, para determinar el área de distribución potencial del agente, sus relaciones tróficas y el daño que pueda infligir a la maleza blanco.

Para atacar plagas animales, como insectos y ácaros, que afectan cultivos, plantaciones, ambientes urbanos y animales domésticos, se recurre a insectos *parasitoides* (que a diferencia de los parásitos terminan matando a su hospedador), artrópodos predadores y agentes patógenos de artrópodos. El diseño de los protocolos de seguridad sigue los mismos principios que los aplicados en el caso de malezas, pero presenta problemas adicionales debido a que la diversidad de artrópodos en un ecosistema suele ser diez veces mayor que la de especies vegetales, y a que la cría de artrópodos en laboratorio es por lo común más compleja que la siembra de plantas en macetas o parcelas experimentales. En consecuencia, se recurre a estudios faunísticos y de comportamiento asimilables a los análisis de riesgo.

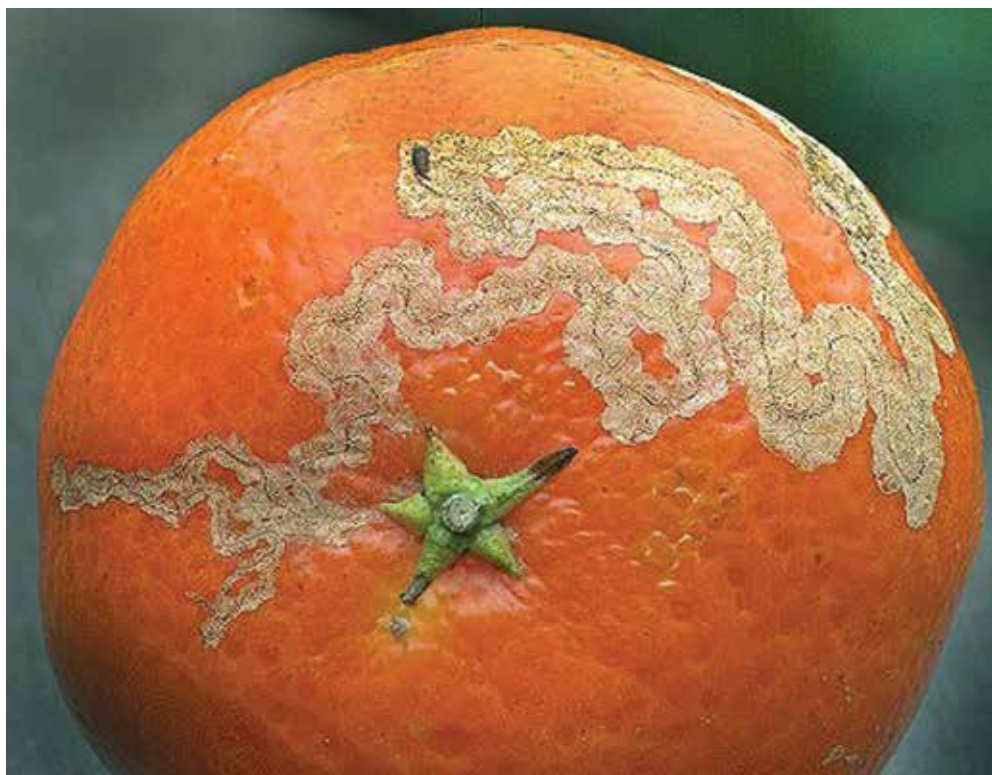


Figura 3. Mandarina atacada por el insecto minador de las hojas de los cítricos (*Phyllocnistis citrella*). Foto Andy Musgrove en <http://www.viarural.com.ar/>

El control biológico en números

En todo el mundo se han liberado hasta la fecha, con fines de control biológico de artrópodos, unas 2000 especies; para el control de malezas, unas 350, y para plagas en general, menos de 50 especies patógenas. Estas cifras contrastan con la cantidad de especies exóticas que invaden los ecosistemas en todo el mundo. Así, el 90% de las especies vegetales de Nueva Zelanda son exóticas; en los Estados Unidos se contabilizaron 50.000 especies exóticas, y en el estado de la Florida se registraron 25.000 plantas exóticas contra 2500 nativas. En la Argentina se citan 550 especies exóticas y alrededor de 40 liberadas para control biológico. Es decir, solo una mínima proporción de los organismos exóticos estable-

CONTROL BIOLÓGICO DEL YUYO ESQUELETO

El yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*) es una maleza perenne altamente invasora originaria de Eurasia. En 1977 se advirtió su presencia en Guaminí, donde había colonizado aproximadamente 700 hectáreas. Actualmente ocupa más de cuatro millones de hectáreas en el sudoeste bonaerense y afecta campos de pastoreo y cultivos de trigo y girasol.

En 1978, en la sede del INTA de Castelar comenzaron las investigaciones para controlarlo. Entre 1982 y 1987 esa entidad realizó seis importaciones de Australia de la mosca *Cystiphora schmidtii*, que le produce lesiones en tallos y hojas y una importante disminución del número de semillas. En 1983 y 1984 se efectuaron varias liberaciones del díptero en la localidad de Bonifacio, pero no se estableció. Algo parecido sucedió con el ácaro *Eriophyes chondrillae* traído también de Australia.

En 1982, la estación del INTA de Anguil, en La Pampa, importó la roya (*Puccinia chondrillina*) de los Estados Unidos, un hongo que ataca tallos y hojas del yuyo esqueleto, debilita la parte aérea de la planta y disminuye la producción de semillas. Actualmente se encuentra establecido en una amplia zona de distribución del yuyo esqueleto, pero su efectividad es aún incierta.

En 1988, el INTA (Bordenave y Castelar) retomó los estudios sobre el ácaro *Eriophyes chondrillae* con ejemplares traídos de Idaho. Entre 1989 y 1991 se efectuaron 18 liberaciones en Puán, Guaminí, Saavedra, Tornquist y otras áreas infestadas. Luego de 20 años de la primera liberación, durante 2008 y 2009, se realizaron estudios de distribución de la maleza y del ácaro que establecieron la presencia del segundo en el 70% de 236 sitios relevados en el sudoeste bonaerense (Guaminí, Alsina, Puán, Saavedra, Tornquist, Coronel Pringles, Coronel Suárez, Bahía Blanca, Coronel Rosales, Coronel Dorrego y Villarino). Si bien el establecimiento y la distribución del ácaro fueron exitosos, todavía se desconoce su efectividad en el control del yuyo esqueleto.

En 1992, el INTA Castelar importó de Grecia la polilla *Bradyrrhoa gilveolella*. Luego de estudios realizados en cuarentena, la liberó en parcelas propias en Castelar, donde no logró establecerse.

Científicos norteamericanos están trabajando en la genética del yuyo esqueleto para seleccionar agentes de control biológico mejor adaptados a sus diferentes formas planificar mejor futuras acciones para combatir la maleza.



Ácaro *Eriophyes chondrillae* magnificado. El tamaño del adulto oscila entre 0,16 y 0,26mm. Foto Charles Turner, USDA, en <http://www.insectimages.org/images/768x512/0022098.jpg>.



A la izquierda: yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*). Foto Noxious Weed Control Board, estado de Washington.

A la derecha: polilla *Bradyrrhoa gilveolella*. Mide entre 11 y 13mm. Foto Eric Coombs, Oregon Department of Agriculture.



Figura 4. Una avispa barrenadora del pino (*Sirex noctilio*) ataca un pino de Monterrey (*Pinus radiata*). El insecto puede medir entre 1 y 3cm. Foto Michaelbbecke, Wikimedia Commons.



Figura 5. Larvas de *Cactoblastis cactorum* en un cactus del género *Opuntia*. Foto Ignacio Báez, Wikimedia Commons.

cidos en el mundo tienen su origen en las liberaciones de agentes de control biológico con base científica.

Se calcula que en Australia el control biológico ahorró en los últimos 25 años unos 4000 millones de dólares en plaguicidas, e incrementó significativamente la biodiversidad y estabilidad de los ecosistemas tratados. Esto significó un ahorro promedio de 23 dólares por cada uno invertido en proyectos de control biológico. Además, en 600 casos estudiados no se hallaron efectos de los agentes de control sobre especies que no fueran el blanco de ataque.

La actividad en la Argentina

El control biológico de insectos tuvo en la Argentina un comienzo temprano y auspicioso. La primera especie introducida con ese propósito fue el mencionado coleóptero *Rodolia cardinalis*, traído en 1900 desde el Uruguay para atacar la cochinilla algodonosa. Desde entonces y hasta mediados de la década de 1980 se introdujeron alrededor de 40 agentes de control biológico, desde Australia, Bolivia, Brasil, Chile, China, Colombia, Costa Rica, los Estados Unidos, México y Sudáfrica. Con ellos se atacaron moscas de los frutos, pulgones, cochinillas, barrenadores del maíz, polillas del duraznero, gorgojos del eucaliptus, chinches verdes y orugas.

En la actualidad, escasas pero importantes organizaciones se dedican al control biológico de insectos, entre ellas el Centro de Estudios Parasitológicos y de Vectores (Universidad Nacional de La Plata-Conicet), que realiza investigación básica sobre parásitos, parasitoides, depredadores y patógenos de importantes plagas sanitarias y agrícolas, como mosquitos, vinchucas, pulgas, arañas, tucuras, chinches verdes, polillas del tomate y otras orugas, ácaros, etcétera.

El Instituto de Microbiología y Zoología Agrícolas, del INTA, se ha ocupado de combatir la oruga de la pera y la manzana (*Cydia pomonella*) en el valle del río Negro con dos avispas parasitoides introducidas en 2004-2005 desde los Estados Unidos. Actualmente procura atacar pulgones, moscas de los frutos, polillas del tomate, moscas blancas, gorgojos del eucaliptus, plagas hortícolas en ambientes protegidos y plagas forestales.

La estación experimental agroindustrial Obispo Colombres, del gobierno de Tucumán, lleva a cabo estudios de avispas parasitoides exóticas para controlar la pequeña polilla llamada minador de hojas de los cítricos (*Phyllocnistis citrella*), cuyo daño en los frutos muestra la figura 3; también una chicharrita (*Diaphorina citri*), vector de la bacteria que causa una enfermedad llamada huanglongbing o HLB, por la que los cítricos toman color verde (de ahí que también se hable de greening de los cítricos), que está ausente en la Argentina pero presente en el Brasil. Combatir a su vector es una forma de disminuir las posibilidades de que ingrese en el país.



Figura 6. Camalote o jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en el río Guadiana, en España. Foto <http://www.medellin.es/+medellin/Actualidad3.htm>

En las estaciones del INTA de Montecarlo, en Misiones, y de Bariloche, lo mismo que en el SENASA y la Facultad de Ciencias Agrarias de Jujuy, se ha encarado el control biológico de la avispa barrenadora del pino (*Sirex noctilio*, figura 4) con un nematodo y tres avispas parasitoides que provienen de Australia vía Brasil. La primera de esas estaciones del INTA también trabaja en el control del pulgón del pino (*Cinara atlántica*) con unas pequeñas avispas parasitoides (de la familia *Braconidae*) traídas de los Estados Unidos vía Brasil.

En la década de 1980, se pusieron en marcha diversos proyectos de control biológico de malezas por iniciativa de organizaciones estatales. El Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias del INTA, situado en Castelar, se ocupó de dos especies de cardos (*Carduus acanthoides* y *C. thomeri*) y de yuyo esqueleto (*Chondrilla juncea*), a las que dedicamos sendos recuadros. Y junto con la estación de Villa Mercedes, en San Luis, de la misma entidad, se ocupó del chañar (*Geoffroea decorticans*), que si bien es un pequeño árbol autóctono, puede convertirse en maleza de campos agroganaderos. La estación del INTA de Campana trabajó con instituciones de Mendoza en el

control de malezas acuáticas, entre ellas el helechito de agua (*Azolla spp.*). Y el Centro de Investigaciones para la Regulación de Poblaciones de Organismos Nocivos, de la Fundación Lillo, de Tucumán, en el control de vinal (*Prosopis ruscifolia*) y valda (*Flaveria bidentis*). Pero la mayoría de estas iniciativas no fueron muy lejos, sobre todo por no haber recibido suficiente financiación en un contexto de agricultura casi exclusivamente apoyada en el uso de plaguicidas.

Entre las actividades de control biológico localizadas en la Argentina hay que mencionar haber sido lugar de origen de agentes de control usados en otros países. En un mundo en el que se han multiplicado los movimientos internacionales de personas y bienes, también acaecieron traslados accidentales o deliberados de muchos organismos sudamericanos a otras regiones del planeta, donde terminaron como plagas y llevaron a buscar agentes de control en sus tierras de origen. Así, uno de los éxitos más resonantes de control biológico de malezas se alcanzó en Australia en la década de 1920 con la introducción desde la Argentina de la polilla *Cactoblastis cactorum*, nativa de esta región, para el control de varias



Figura 7. Gorgojo (*Neochetina bruchi*) empleado con éxito para combatir el camalote. Mide unos 4mm de largo. Foto National Bureau of Agriculturally Important Insects de la India: <http://www.nbaii.res.in/Featured%20insects/Neochetina.htm>.

especies de cactus americanos del género *Opuntia* que se habían hecho invasores en el primer país. El éxito llevó a que la polilla también se introdujera en Sudáfrica, invadida por los mismos cactus (figura 5).

Desde 1962 funciona en Hurlingham, en los suburbios de Buenos Aires, la Fundación para el Estudio de Especies Invasivas, que antes era el Laboratorio Sudamericano de Control Biológico del Servicio de Investigaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura de los Estados Unidos. La entidad, en que se desempeñan dos de los autores de esta nota, tiene como misión evaluar agentes de control biológico para uso en países que experimenten problemas con plagas de origen sudamericano. Lleva evaluados más de 250 de ellos, para el control potencial de 45 organismos naturales del territorio argentino convertidos en plagas invasoras en los Estados Unidos, Australia, Sudáfrica y Europa. De ellos, 25 para los que se aprobaron las pruebas de seguridad fueron liberados en los Estados Unidos y Australia (y luego a otros países de África, Asia y Centroamérica) para el control de nueve de dichas especies invasoras.

En 1974, el laboratorio de Hurlingham buscó la forma de controlar el camalote (*Eichhornia crassipes*) en el dique Los Sauces, a pocos kilómetros de la ciudad de La Rioja (figura 6). Eligió como agente de control al gorgojo nativo *Neochetina bruchi* (figura 7). Luego de algunos años se pudo constatar una marcada reducción del camalote. Ese puede considerarse el primer proyecto exitoso de control biológico de malezas en la Argentina. Algunos proyectos exitosos del laboratorio en el extranjero fueron la lagunilla (*Alternanthera filoxeroides*), una herbácea acuática, el camalote, y las hormigas coloradas (*Solenopsis invicta* y *S. richteri*).

Actualmente, dentro y fuera de la Argentina el manejo de agentes de control biológico debe adaptarse a marcos regulatorios cada vez más exigentes, que tienen por propósito proteger el patrimonio genético. Pero las regulaciones muchas veces demoran y ocasionalmente impiden la ejecución de programas de control biológico.

Es esencial que los aspectos científicos y regulatorios estén asociados eficientemente para que el intercambio de agentes de control sea una forma genuina y segura de cooperación científica internacional, en beneficio de la biodiversidad global. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

BIGLER D, BABENDREIER D & KUHLMANN U (eds.), 2006, *Environmental Impact of Invertebrates for Biological Control of Arthropods. Methods and Risk Assessment*, CABI Publishing, Wallingford.

DELOACH C, CORDO HA y CROUZEL IS, 1989, *Control biológico de malezas*, El Ateneo, Buenos Aires.

ZAPATER MC (ed.), 1996, 'El control biológico en América Latina', actas de la *III Mesa Redonda de Control Biológico en el Neotrópico*, International Organization for Biological Control.

Impacto ambiental de la actividad agropecuaria

La actividad agropecuaria transforma enormemente el paisaje a través de distintos caminos: por un lado, reduce la superficie de los ambientes originales para sembrar cultivos. Por otro lado, emplea tecnologías que mejoran los rendimientos, como los fertilizantes o los pla-

guicidas, pero que también alteran el ambiente. Tanto la pérdida de hábitat como el uso de agroquímicos ocasionan, muy frecuentemente, pérdida de especies y de fertilidad de los suelos. A la vez, este deterioro de los ecosistemas puede repercutir de manera directa o indirecta sobre las personas.



Héctor R Grau, N Ignacio Gasparri,
Mariano M Morales, Alfredo Grau, Ezequiel Aráoz,
Julieta Carilla y Jorgelina Gutiérrez

Regeneración ambiental en el noroeste argentino

Oportunidades para la conservación y restauración de ecosistemas

La acelerada deforestación de regiones como la amazónica y la chaquense generó en la opinión pública la percepción de que se está produciendo una degradación generalizada de los ambientes naturales. Sin embargo, simultáneamente, en extensas regiones los ecosistemas se regeneran espontáneamente en asociación con la modernización socioeconómica y la urbanización.

En el noroeste de la Argentina, los procesos de recuperación de los ecosistemas, llamados *transición ecológica*, no están ausentes en distintos ámbitos naturales. Nuestros estudios, basados en análisis de las tendencias de largo plazo en desiertos de altura, chaco y distintos pisos altitudinales de las yungas, ejemplifican la extensión geográfica y complejidad de este proceso, y sugieren un cambio de enfoque en las políticas conservacionistas.

Deforestación, transición forestal y transición ecológica en el contexto global

Los cambios en la distribución de los bosques se encuentran entre los principales componentes del cambio

ambiental global. La mayor atención científica y mediática a estos cambios se ha concentrado en la deforestación, que ocurre principalmente en las regiones tropicales de llanura, como la cuenca amazónica y el sureste asiático. En parte, la deforestación es consecuencia del crecimiento económico y poblacional. La creciente población humana y el incremento en el consumo per capita de alimentos llevan a que se requiera, progresivamente, más tierras de cultivo.

Una mirada superficial a esta tendencia sugiere que avanzamos irremediamente hacia una situación catastrófica. Se espera que, antes de estabilizarse, la población global aumente en unos 3000 millones de personas, y supere los 9000 millones en los próximos cincuenta años. Además, que, en promedio, cada habitante consuma más. Ello impulsaría la expansión agrícola, en detrimento de los bosques y otras áreas naturales. La acelerada deforestación de bosques subtropicales de llanura en la Argentina, motorizada por la creciente demanda mundial de soja, refleja localmente este fenómeno global.

Sin embargo, las estadísticas mundiales muestran que, desde 1990, más de cincuenta países han incrementado su superficie boscosa. Si bien la deforestación es rápida en la amazonia y el chaco, el cambio neto en

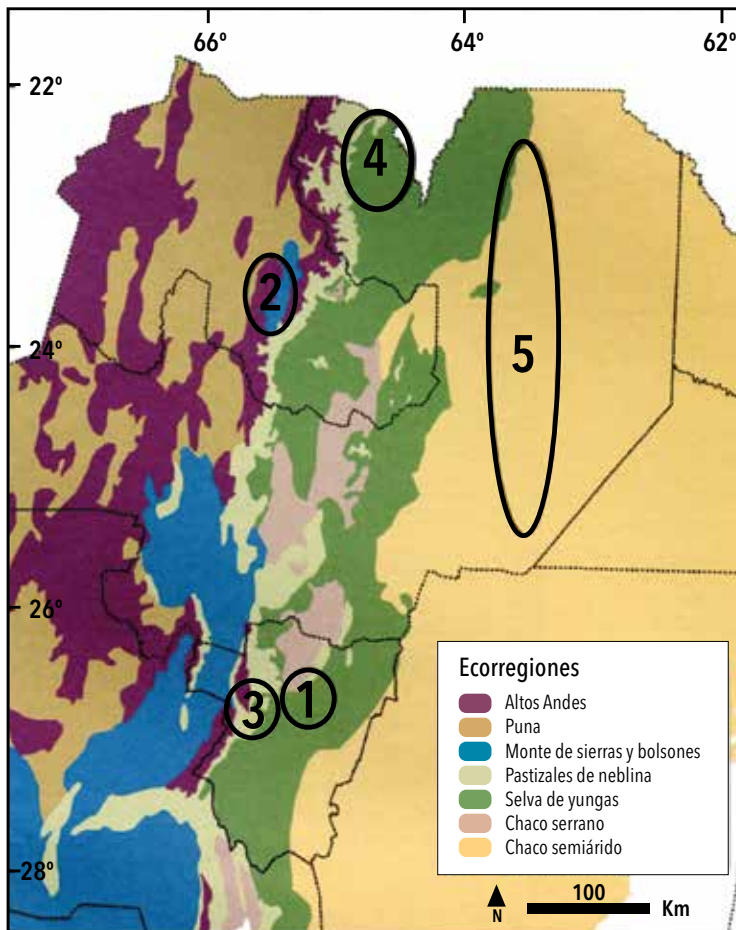


Figura 1. Sitios del noroeste argentino mencionados en el presente artículo: (1) sierra de San Javier y urbanización de San Miguel de Tucumán, (2) quebrada de Humahuaca, (3) Tafí del Valle, (4) Los Toldos, (5) chaco salteño.

la superficie forestal del planeta en los últimos tiempos ha sido cercano a cero. Ello implica que, en extensas áreas, ocurren procesos de reforestación, tanto en forma de plantaciones, como de regeneración espontánea de bosques (a los que se da el nombre de *bosques secundarios*).

Este proceso de expansión de los bosques sobre tierras agrícolas y pasturas, que revierte la tendencia histórica de deforestación, se conoce como *transición forestal*. El relativamente reciente fenómeno de reducción de actividades humanas en áreas no aptas para la agricultura o la ganadería modernas también ocurre en zonas desérticas y prados alpinos que no tienen bosques, por lo que, más generalmente, se puede hablar de *transición ecológica*. Ello tiene grandes implicancias ambientales, pues afecta, por ejemplo, la conservación de la biodiversidad, la protección de cuencas hídricas y la acumulación de biomasa. Sin embargo, tal recuperación de ecosistemas es poco percibida, en parte porque ocurre en forma gradual y solo la revelan estudios de largo plazo.

La transición forestal ha sido bien documentada, desde hace más de un siglo, en regiones desarrolladas como Europa y Norteamérica. En la América tropical y subtropical, el proceso dominante de cambio de la co-

bertura vegetal es la deforestación, pero en los últimos tiempos se han documentado ejemplos de transición forestal en Puerto Rico, República Dominicana, Costa Rica y El Salvador, lo mismo que en sectores del Ecuador, el Brasil, Bolivia, el Perú y México. Por lo general, estos cambios ambientales están asociados con las siguientes tendencias socioeconómicas: (i) reducción de la importancia económica relativa de la producción agrícola, en comparación con los sectores industriales y de servicios; (ii) migración de población rural al medio urbano, incluyendo migración internacional; (iii) incremento de la productividad agrícola, especialmente en las áreas más aptas para agricultura moderna tecnificada; (iv) reemplazo de la leña y la tracción a sangre por combustibles fósiles y vehículos mecánicos más rápidos y eficientes; (v) abandono de la agricultura y la ganadería en tierras marginales, por ejemplo, en aquellas con mayores pendientes, poca agua o suelos pobres, y (vi) demanda social de políticas conservacionistas y de creación de áreas protegidas.

Si más países o regiones siguen este camino, es posible que los escenarios ambientales catastróficos sean menos probables. La mayor demanda mundial de alimentos, entonces, no sería cubierta solo por la expansión de la frontera agrícola sino, principalmente, por el incremento de los rendimientos agrícolas en las tierras más aptas para agricultura moderna. Muchas áreas marginales hoy dedicadas a agricultura y ganadería de baja productividad serían abandonadas, con la consiguiente recuperación de los ecosistemas naturales y de los servicios que estos proporcionan a la sociedad.

La transición forestal ha sido documentada en distintos sitios del noroeste argentino (figura 1) mediante el análisis de fotografías históricas, de imágenes satelitales tomadas a lo largo de varias décadas, y por el análisis de los anillos de crecimiento de los árboles (técnica conocida como *dendroecología*). Estos análisis revelan un proceso virtualmente ignorado por las estadísticas nacionales sobre superficies boscosas, pues no se advierten cuando se comparan imágenes tomadas con poca diferencia de tiempo. Tampoco llaman la atención de los medios, pues los cambios no son dramáticos. Sin embargo, la variedad de ambientes en que ocurren sugiere que se trata de un fenómeno de gran extensión, aunque con características distintas en cada ecosistema.

Urbanización, transición forestal e invasión por especies exóticas

La ciudad de San Miguel de Tucumán y su área metropolitana constituyen el mayor núcleo urbano del norte de la Argentina, y el que más creció en los últimos treinta años, ya que pasó de 250.000 habitantes a

casi un millón (figura 2). A poco más de 10km al oeste de la ciudad está la sierra de San Javier, con laderas cubiertas por selvas húmedas de montaña o yungas. Los análisis de fotografías aéreas tomadas desde 1949 revelan un claro ejemplo de transición forestal: luego de

una disminución de la superficie forestal en las décadas de 1950 y 1960, desde principios de la de 1970 esta aumentó en más de 1000 hectáreas sobre un total de aproximadamente 25.000. Pese a que algunos bosques fueron eliminados para expansión urbana y agrícola, la superficie neta de bosques de la sierra se expandió sobre

pasturas y cultivos abandonados. Parte de esta expansión ocurrió en un área protegida perteneciente a la Universidad Nacional de Tucumán, que abarca unas 14.000 hectáreas; pero aproximadamente la mitad de los nuevos bosques están fuera del área protegida, sin el amparo de medida legal alguna. Su expansión parece haberse producido como consecuencia espontánea de los cambios socioeconómicos. Mientras los habitantes de la sierra se dedicaban principalmente a la agricultura y la ganadería marginales

hace treinta años, hoy prestan servicios en la creciente economía urbana y periurbana, son empleados estatales o han emigrado.

Tales cambios mejoraron la capacidad de la sierra de proveer los llamados *servicios ecológicos*, concepto que incluye la protección de las cuencas hídricas, la provisión de hábitat para la flora y fauna nativas, y la conservación del paisaje natural para usos turísticos y recreativos. Pero la cercanía a la ciudad, con una rica flora de especies de otras regiones ecológicas (llamadas *especies introducidas* o *exóticas*), dificulta la recuperación de los ecosistemas naturales, por la competencia entre las especies nativas y las exóticas, que en algunos casos tienen el carácter de invasoras y dominantes. Así, e igual que en otras áreas de las yungas cercanas a grandes núcleos urbanos, en la mayoría de los nuevos bosques dominan árboles como el ligustro (*Ligustrum lucidum*, figura 4), de origen asiático. Estos nuevos bosques tienen menor diversidad de especies que el bosque nativo. Observaciones prelimi-

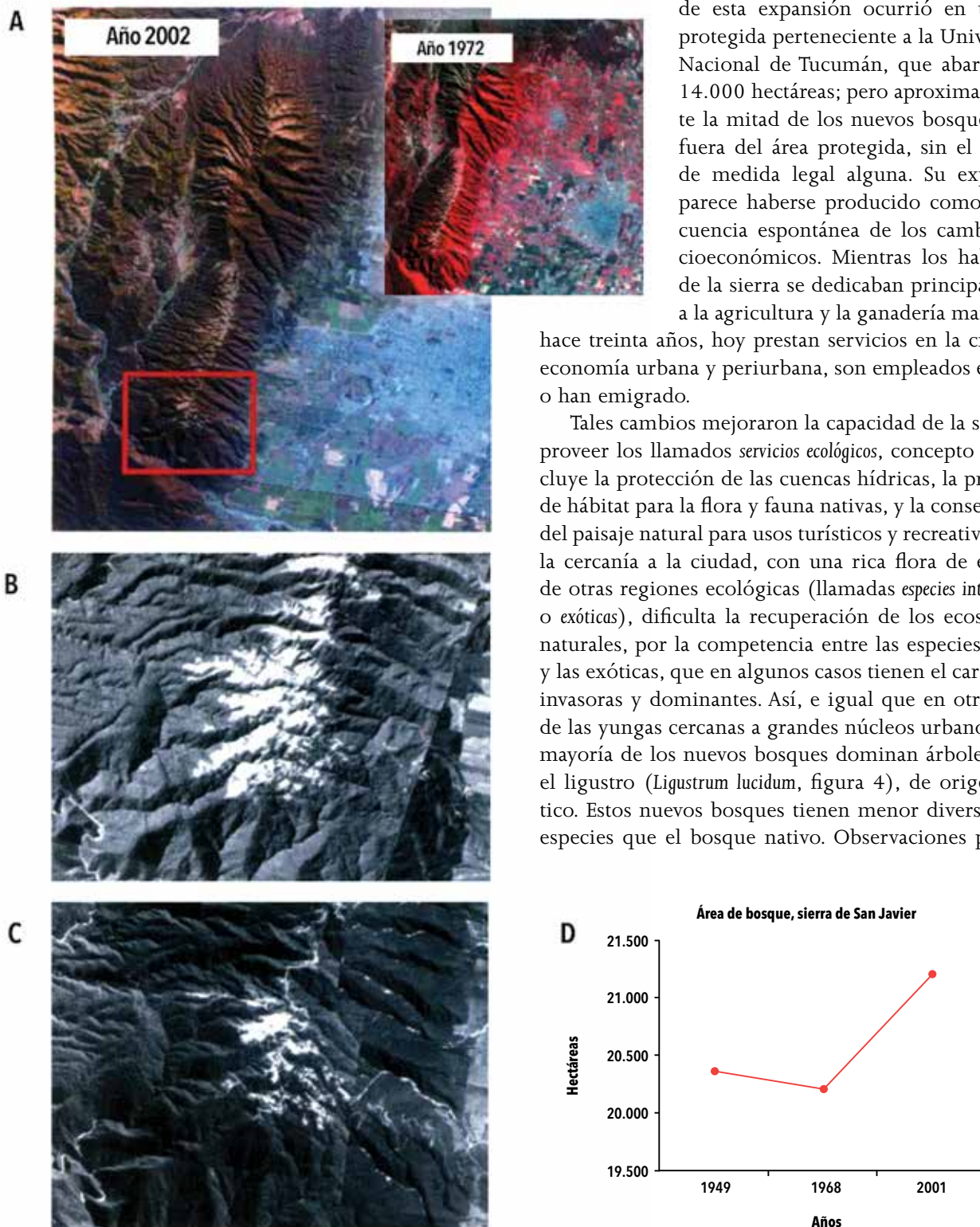


Figura 2. Transición forestal y urbanización. (A) Imagen satelital de 2002 mostrando el Gran San Miguel de Tucumán (la imagen chica muestra la superficie ocupada por la ciudad en 1972). El recuadro destaca el área expandida en las figuras B y C. Detalle del sector sur de la zona cumbre de la sierra en (B) 1968 y (C) 2001, mostrando la expansión de bosques. (D) Evolución de la superficie de bosques en la sierra durante los últimos cincuenta años.



Figura 3. Mosaico de pastizales fuertemente pastoreados y bosques de montaña de aliso (*Alnus acuminata*). Tafí del Valle, Tucumán.



Figura 4. Bosques de ligustro (*Ligustrum lucidum*) que se expanden sobre tierras agrícolas y ganaderas de las cumbres de la sierra de San Javier.

nares sugieren que se necesitarían varios siglos para que el mencionado bosque de ligustro sea reemplazado por uno dominado por laureles y horco molles nativos.

Cambio climático y expansión forestal

En general, los árboles requieren más agua que las hierbas y los arbustos, por lo que puede esperarse que

el aumento de la lluvia favorezca su expansión. Sin embargo, esto no ocurriría si la presión humana fuera intensa, ya sea en forma directa (por extracción de leña o madera) o indirecta (por la presencia de herbívoros domésticos o por fuegos frecuentes).

La expansión de los bosques de montaña de aliso (*Alnus acuminata*) en la provincia de Tucumán fue bien documentada en la década de 1980 por medio de la comparación de fotografías históricas. A partir de la década de 1990, el análisis de los anillos de crecimiento de los árboles ha permitido establecer con más precisión cómo fue esa expansión a lo largo del tiempo. Este método permitió también documentar la expansión de los bosques de churquis (*Prosopis ferox*) en la Quebrada de Humahuaca. Por lo que se sabe, ambos procesos son el resultado de una combinación de cambios climáticos y de uso del suelo por parte de los pobladores: en toda la región, las lluvias aumentaron marcadamente durante las últimas décadas (ver recuadro ‘Cambios climáticos en el noroeste argentino: una perspectiva dendrocronológica’), mientras la población rural y la ganadería extensiva disminuían, principalmente en las áreas de montaña.

Los bosques de aliso crecen, alternando con pastizales, en el estrato o piso más alto de las yungas, entre los 1700 y los 2700 metros de altitud. Comparando fotografías tomadas en el valle de Tafí a fines de la década de 1940 y en el presente, se identifican cientos de hectáreas cubiertas por bosques nuevos (figura 5). Los patrones de esa expansión muestran alguna coincidencia con las cur-

vas de aumento de las precipitaciones. Por ejemplo, los dos momentos en que el área boscosa creció más rápido (a fines de los 60 y de los 80) ocurrieron a continuación de los dos períodos de mayor lluvia. Por otra parte, la urbanización y el crecimiento de la economía local seguramente provocaron la disminución de la frecuencia con que se produjeron fuegos, así como la intensidad del pastoreo, lo que habría facilitado la expansión del bosque.

En un ambiente muy distinto, los desiertos de altura de la Quebrada de Humahuaca, se observa un patrón similar (figura 8). La estructura de edades del churqui, el único árbol de esa región (figura 7), muestra que hubo una regeneración muy limitada de esa especie vegetal hasta principios de la década de 1970, un período caracterizado por altas cargas ganaderas y poca lluvia. Pero desde mediados de dicha década y hasta fines de la de 1990 el bosque creció en coincidencia con el aumento de la precipitación regional, la disminución de la población rural y la consecuente reducción de la ganadería.

El caso de los pastizales degradados de las yungas

En las selvas húmedas de montaña, los sectores históricamente más afectados por actividades humanas fueron los valles de altura, muchas veces desforestados y transformados en pastizales con intenso pastoreo. El valle de Los Toldos, por ejemplo, en el extremo norte del país, está rodeado de selvas, pero el fondo de valle es un mosaico de pastizales, arbustos y bosques secundarios de pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*, figura 9).

El municipio de Los Toldos experimentó un proceso de reducción de la actividad ganadera durante la segunda mitad del siglo XX, lo mismo que de urbanización, la que se intensificó a partir de la década de 1980. Sin embargo, el análisis de los anillos de los árboles (figura 10) indica que los bosques de pino no se estuvieron expandiendo sobre el pastizal en las últimas décadas. De hecho, esa expansión fue más intensa durante la primera mitad del siglo, cuando había mayor densidad ganadera y, sugestivamente, alcanzó su pico en la década de 1960, en la zona más próxima al poblado de Los Toldos, donde la presión ganadera era comparativamente más alta.

Suponemos que los pastizales se mantuvieron en estado estable por la interacción entre fuego y pastoreo. Densidades altas de pastoreo no son particularmente favorables para la germinación y el establecimiento de árboles, pero, por otro lado, limitan la cantidad de pasto combustible. Ante pequeñas disminuciones del ganado, los árboles pueden establecerse, pero una reducción mayor de la carga ganadera produce una acumulación de pasto combustible y el consiguiente aumento de la

frecuencia y severidad de fuegos, lo que limita la expansión del bosque.

A) 1946



B) 2001

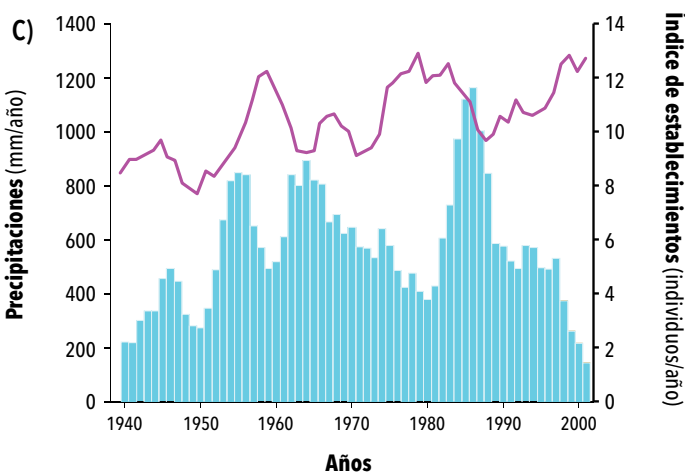
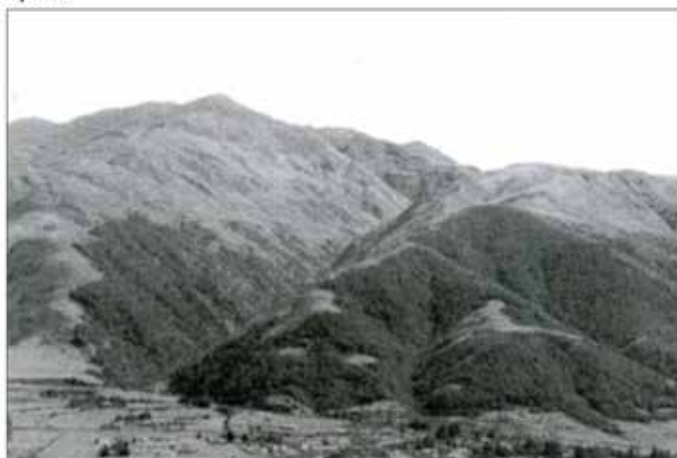


Figura 5. Expansión del bosque de aliso en el valle de Tafí (Tucumán), asociada a la urbanización del fondo del valle. (A) Imagen de 1946. (B) Imagen de 2001. (C) Patrones de establecimiento de árboles, inferidos mediante dendroecología y con relación a las precipitaciones anuales de San Miguel de Tucumán (la estación meteorológica cercana más confiable). La línea indica el promedio móvil de lluvias en períodos de cinco años. Las barras son números estimados de árboles establecidos por año.



Figura 6. Bosque de pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*) en la sierra de San Javier, a 15km de San Miguel de Tucumán.



Figura 7. Vegetación dominada por churqui (*Prosopis ferox*) en la Quebrada de Humahuaca.

La expansión agrícola en el chaco

Mientras la disminución de los usos agropecuarios parece bastante evidente en muchas zonas de montaña, hoy la agricultura se expande rápidamente en la llanura chaqueña. En las últimas tres décadas, solo en el este de la provincia de Salta se ha deforestado aproximadamente un millón de hectáreas, principalmente para el cultivo de soja. En tal área, sin embargo, aún quedan más de cinco millones de hectáreas de bosque chaqueño, la mayor parte en zonas demasiado áridas para realizar agricultura sin riego. Históricamente esas tierras fueron utilizadas para una ganadería extensiva que degradó fuertemente el bosque.

En ese sector también parece estar ocurriendo un proceso de recuperación de la vegetación natural (figura 12). Analizando imágenes satelitales desde principios de la década del 70, se advierte que los puestos, núcleo de la actividad ganadera extensiva, han disminuido en número. También ha disminuido la superficie degradada en las zonas periféricas. En los cinco millones de

hectáreas de bosque chaqueño remanentes en Salta y el noroeste de Santiago del Estero, se advierte que desaparecieron 99 puestos desde la década de 1970 (aproximadamente el 2% del total), y que en el 91% de los puestos que aún subsisten disminuyó el área de suelo desnudo, un indicador de degradación ambiental.

Los mecanismos que generan esta disminución de presión ganadera en el chaco salteño aún no están del todo claros, pero, durante los últimos treinta años, el proceso coincide con una reducción de la población rural y de la ganadería extensiva (en ambos casos, en alrededor del 5%), simultáneamente con la expansión de la agricultura y de pasturas implantadas. La disminución de la ganadería extensiva también habría contribuido a la recuperación de la fauna del bosque, por la menor caza de subsistencia y menos matanza de predadores del ganado practicada por los ocupantes de los puestos. En el chaco semiárido, la densidad de grandes mamíferos, como jaguares y pecaríes, está claramente en relación inversa con la cantidad y antigüedad de los puestos.

Geografía de la transición ecológica en el noroeste argentino

La agricultura moderna se está expandiendo sobre sectores planos de los estratos más bajos de las yungas (también llamados de *selvas pedemontanas*), sobre el sector más húmedo del chaco occidental, y sobre las zonas irrigables del desierto ocupadas por el ecosistema del monte. Se especula que esa expansión podría estar afectando ciertos procesos ecológicos de gran escala, como la conectividad entre el chaco y las yungas.

Sin embargo, luego de más de un siglo de deforestación, las áreas afectadas a la agricultura representan aproximadamente el 6% de la superficie del noroeste argentino. Además, menos del 1% de la región está urbanizada. En consecuencia, más del 90% del territorio regional –incluidas las zonas más importantes para la conservación de cuencas, las de más valor para usos turísticos y recreativos, y las de mayor biodiversidad– no está directamente afectado por la agricultura moderna. Al mismo tiempo, los ecosistemas más afectados por la deforestación existen también en zonas relativamente extensas que, por razones topográficas o climáticas, no están amenazadas por la expansión agrícola, lo que limita el potencial efecto de dicha expansión sobre la biodiversidad.

Se puede concluir, según los estudios comentados, que en distintas zonas ambientales del noroeste argentino se están produciendo procesos de recuperación de bosques: la expansión de la economía urbana de San Miguel de Tucumán favorece la recuperación de las selvas húmedas cercanas; la expansión agrícola del chaco

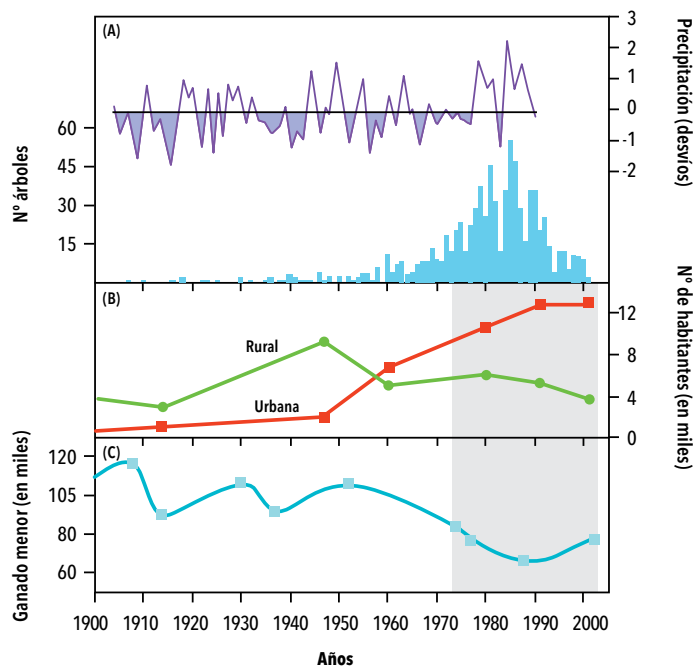


Figura 8. Quebrada de Humahuaca. (A) Tendencias en las precipitaciones expresadas como desvíos de la medida y estructura de edades de churqui (*Protopsis ferax*). (B) Población rural y urbana. (C) Ganado menor (cabras y ovejas).



Figura 9. Mosaico de pastizales pirogénicos y bosques dominados por pino del cerro (*Podocarpus parlatorei*) en el valle de Los Toldos, Salta.

podría asociarse con la recuperación de muchas hectáreas de bosque; la disminución de la ganadería extensiva, junto con el aumento de las precipitaciones, favorece la expansión de los bosques de churquis y alisos. Es probable que la recuperación de ecosistemas también esté ocurriendo en el desierto del monte y en la alta montaña, donde es más marcada la reducción de la población rural y de la ganadería de subsistencia. Así, las poblaciones de vicuñas de la puna y la región altoandina han aumentado más de diez veces durante las últimas décadas. A ello contribuyeron las leyes vigentes de protección, pero estas difícilmente habrían resultado tan efectivas

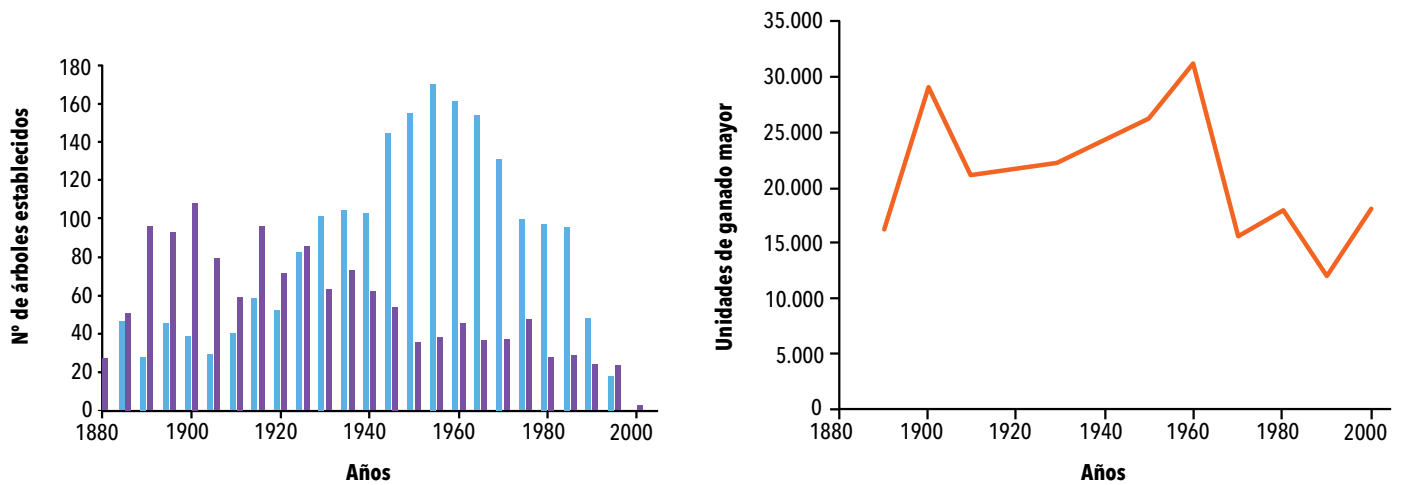


Figura 10. Regeneración de pinos del cerro (*Podocarpus parlatorei*) en el valle de Los Toldos, en Salta, con relación a ganadería. (A) Establecimientos en el sector de Vallecito (lejano al núcleo urbano, barras lilas) y Los Toldos (cercano al núcleo urbano, barras celestes). (B) Variaciones de la carga ganadera en el departamento de Santa Victoria, al que pertenece el municipio de Los Toldos.



Figura 11. Regeneración del ambiente natural en un puesto ganadero con varios años de abandono, norte de Santiago del Estero.

si no hubiese sido por la disminución de la población rural, de la agricultura y de la ganadería en esas zonas.

En los extensos sectores no afectados por la agricultura moderna se siguen realizando actividades de baja eficiencia productiva, como ganadería extensiva, explotación artesanal del bosque o extracción de carbón, de menor impacto local. Un considerable porcentaje de esas áreas (cuya magnitud precisa no está cuantificada) probablemente experimenten procesos de transición ecológica o reúnan las condiciones para que estos procesos se manifiesten, en la medida en que dichas actividades de baja eficiencia productiva disminuyan.

Un análisis más profundo de estos procesos incluye contestar preguntas como ¿cuál es la extensión y distribu-

ción detallada de procesos de recuperación de ecosistemas en la región? ¿Cuáles son los factores clave que gobiernan la transición y cómo interactúan esos factores con procesos tales como el cambio climático y la heterogeneidad ambiental regional? ¿En qué medida la oportunidad de recuperación de ecosistemas es aprovechada por especies exóticas invasoras, o se ve limitada por estados degradados resistentes, como los pastizales mantenidos por el fuego? ¿Cuáles son los límites potenciales de expansión de la agricultura moderna, y en qué medida las nuevas tecnologías pueden superar esos límites y anular los posibles beneficios conservacionistas producidos en áreas hasta ahora marginales para la agricultura?

Transición ecológica y políticas de conservación de la naturaleza

La transición ecológica constituye un escenario novedoso para definir políticas de conservación de la naturaleza y de desarrollo sustentable. Los procesos espontáneos de recuperación de ecosistemas pueden ser favorecidos y orientados, para promover a bajo costo la conservación de extensas áreas.

Las nuevas políticas conservacionistas, en consecuencia, deberían abandonar las referencias exclusivas a la degradación y a las amenazas, que derivan en acciones puramente defensivas, y apoyarse en los procesos espontáneos de recuperación de los ecosistemas.

Hoy, mientras la deforestación debida a la expansión agrícola ocupa el centro de la política y del discurso conservacionistas, la ganadería extensiva, que afecta gran parte de la región, es virtualmente ignorada. Las prácticas asociadas con la ganadería extensiva en sec-

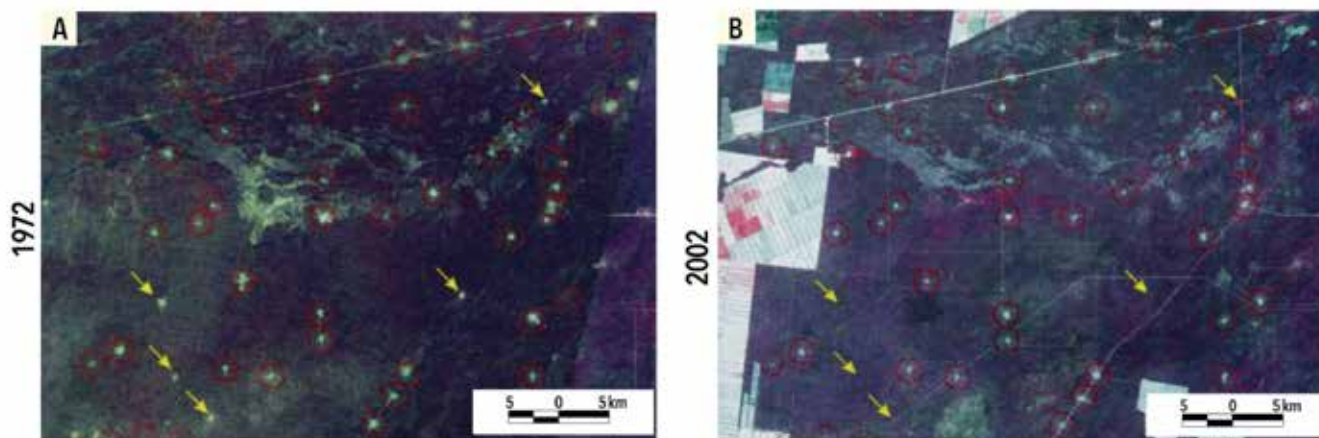


Figura 12. Imágenes satelitales Landsat del chaco salteño. (A) 1972. El área está cubierta de puestos ganaderos dispersos en el bosque (puntos blancos rodeados por círculos rojos). (B) 2002. La expansión agrícola se advierte en la izquierda de la imagen y la desaparición de los puestos ganaderos, indicados por flechas amarillas, en el resto.

tores no agrícolas del chaco, las yungas, la puna, los páramos altoandinos y el monte son buen ejemplo de actividades que comprometen la conservación, a pesar de que localmente son de baja intensidad. La cría del ganado en ambientes en los que, para alimentar en condiciones precarias a una familia de campesinos, es necesario disponer de varios miles de hectáreas, crea una perturbación suficiente para eliminar a grandes predadores como jaguares o pumas (figura 14) y para alterar las comunidades nativas de vegetales y animales.

El retroceso de la ganadería extensiva en el chaco salteño contrasta con la idea de que la deforestación empuja a la actividad ganadera hacia nuevas áreas boscosas y de que, en consecuencia, la agricultura moderna es incompatible con la conservación.

Algunos de los nuevos desafíos creados por esta situación incluyen la manera de afianzar el proceso de recuperación del bosque ante la presión por nuevas tierras agrícolas; la facilitación de los mecanismos hasta hoy espontáneos de recuperación de la vegetación y de su fauna asociada y la integración de población rural, hasta el momento dedicada a la ganadería extensiva, a nuevas actividades económicas, tanto las vinculadas con la agricultura moderna como con el uso sustentable del recurso forestal.

En las selvas de las yungas, en lugar de enfocar la débil amenaza de deforestación, el conservacionismo podría fomentar las tendencias que apuntan a la disminución del uso humano poco eficiente. Ello, a su vez, favorecería la recuperación del ecosistema natural y atacaría los factores biofísicos (como la invasión de especies exóticas) y humanos que la limitan.

En los ecosistemas marginales del noroeste argentino, la agricultura moderna y la emigración son, claramente, factores que promueven el abandono de prácticas poco eficientes y negativas para la conservación,

pero por regla general las organizaciones de conservación y desarrollo las combaten o desincentivan.

Lo dicho no implica que la deforestación sea algo despreciable. Sería saludable que sus potenciales costos fuesen comparados con los beneficios de la expansión agrícola, a los fines de establecer un ordenamiento racional del territorio. Para esto, es importante aplicar el concepto de eficiencia del uso del suelo. Los sistemas

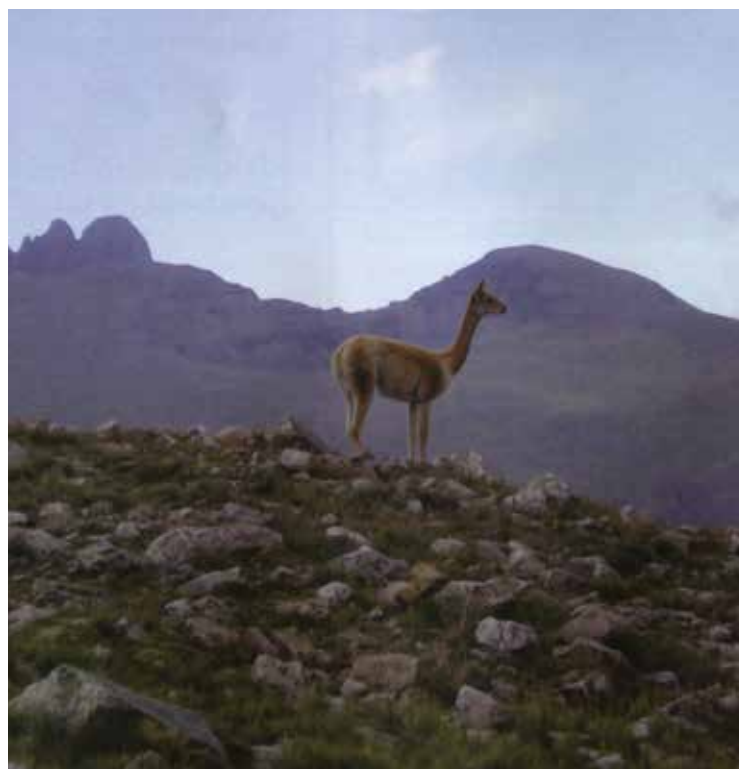


Figura 13. Una vicuña en la alta montaña, en la sierra de Santa Victoria, Salta. Considerada hace unas décadas una especie severamente amenazada, hoy se encuentra en franca expansión, en coincidencia con una reducción de la población rural y de la ganadería de subsistencia en las tierras altas de las provincias andinas.



Figura 14. Pieles de pumas cazados para proteger la ganadería extensiva de cabras y llamas en los nevados del Aconquija, Catamarca.

productivos modernos, aunque frecuentemente resulten negativos para la biodiversidad y los servicios ambientales si se los analiza en una escala local, pueden favorecer la conservación de los ecosistemas, e incluso su recuperación, si se consideran zonas más extensas y comparativamente más significativas del territorio.

Asimilar estos conceptos implica revisar perspectivas y actitudes que están fuertemente afianzadas. La existencia largamente ignorada de la transición ecológica en el noroeste argentino muestra que la espectacularidad de los árboles que se derriban a veces impide ver el bosque que se regenera. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

ALTRITCHER M y BOAGLIO G, 2004, 'Distribution and relative abundance of peccaries in the Argentine Chaco: Associations with human factors', *Biological Conservation*, 116: 217-225.

ALTRITCHER M, BOAGLIO G y PEROVIC P, 2006, 'The decline of Jaguars *Panthera onca* in the Argentine Chaco', *Oryx*, 40: 302-309.

GRAU A, 1985, 'La expansión del aliso del cerro (*Alnus acuminata*) en el noroeste de la Argentina', *Lilloa*, 36: 273-289.

GRAU HR, GASPARRI NI & AIDE TM, 2005, 'Agriculture expansion and

deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina', *Environmental Conservation*, 32:140-148.

LICHSTEIN J, GRAU HR & ARAGÓN R, 2004, 'Recruitment limitation in secondary forests dominated by an exotic tree', *Journal of Vegetation Science*, 15: 721-728.

MORALES MM, VILLALBA R & BONINSEGNA J, 2005, 'Climate, land-use and *Prosopis ferox* recruitment in the Quebrada de Humahuaca', *Dendrochronologia*, 22: 169-174.

David Bilenca, Mariano Codesido y Carlos González Fischer

Grupo de Ecología de Agroecosistemas, Departamento de Ecología, Genética y Evolución,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Cambios en la fauna pampeana

Una de las definiciones habituales señala a los agroecosistemas como ecosistemas que son manejados por el hombre con la finalidad de producir alimentos y fibras (y, más recientemente también, combustibles), por lo que son sometidos a frecuentes e intensas modificaciones tanto de sus componentes bióticos como abióticos. Algunos de los factores bióticos manejados incluyen la productividad y la composición de especies (qué cultivos introducir, qué plantas y animales controlar, etcétera), en tanto que entre los factores abióticos que son modificados figuran la disponibilidad de nutrientes o la humedad del suelo, entre muchos otros. Además de los componentes físicos y biológicos, las características de los agroecosistemas dependen también de factores socioeconómicos, como las tendencias de mercado y de los consumidores, los precios y la política de subsidios, que influyen tanto sobre los tipos de materias primas que se han de producir como sobre los sistemas de producción que se han de emplear.

Características de la reciente expansión e intensificación agrícolas

En las últimas décadas la conversión de tierras para uso agrícola en la Argentina ha pasado por un período de

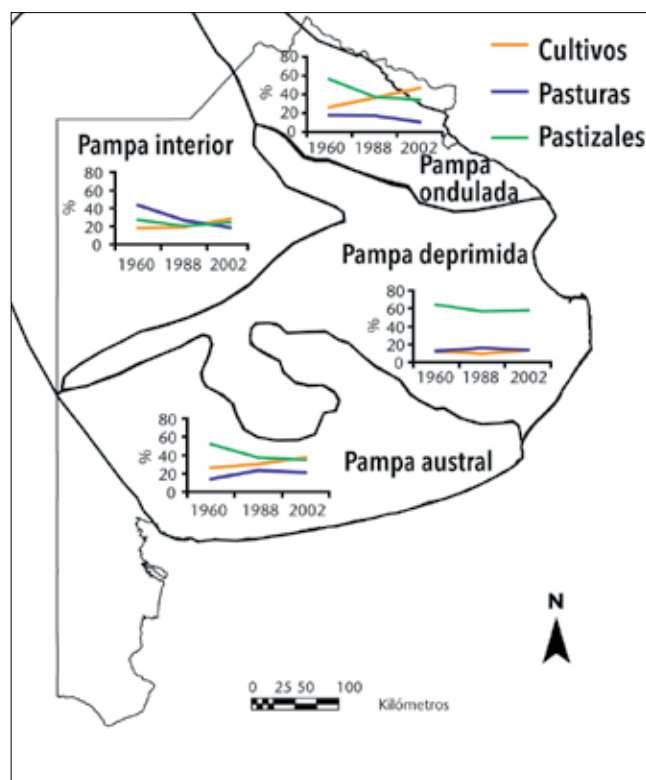


Figura 1. Cambios en la superficie cubierta por cultivos anuales, pasturas y pastizales en las diferentes subregiones o unidades ecológicas de la región pampeana contenidas en la provincia de Buenos Aires, 1960-1988-2002. Fuente: elaboración propia sobre la base de datos de los respectivos censos nacionales agropecuarios, INDEC.

franca aceleración. Uno de los casos mejor documentados y que ha ganado mayor atención de la opinión pública y de las organizaciones ambientalistas ha sido la expansión de la frontera agrícola asociada a la deforestación de los bosques nativos en varias de las provincias que integran las Yungas y el Chaco: Salta, Formosa, Chaco y Santiago del Estero, entre otras. No obstante, el proceso de expansión de la frontera agrícola se ha dado también con intensidad en otras regiones del país. En zonas periféricas de la región pampeana, que hasta hace poco tiempo estaban dedicadas mayormente a la ganadería extensiva sobre pastizales naturales y que eran consideradas tierras marginales, hoy es posible observar un creciente avance de la agricultura. Por ejemplo, estudios de clasificación de imágenes satelitales realizados en el centro de la provincia de San Luis han detectado una drástica reducción en la cobertura de pastizales naturales, que pasaron de cubrir más del 90% de la superficie en 1985 a menos del 45% en 2001, a manos de cultivos y pasturas. Otro tanto ha sucedido con los departamentos que conforman la pampa mesopotámica en el sur de la provincia de Entre Ríos donde, de acuerdo con los datos proporcionados por los últimos censos nacionales agropecuarios (CNA 1988 y CNA 2002), la proporción de la superficie cubierta por cultivos anuales aumentó de 8,5 a 18,7%.

La conversión de tierras para la agricultura se ha dado incluso hacia el interior de los límites preexistentes de la frontera agropecuaria. En efecto, en la provincia de Buenos Aires, que cuenta con agroecosistemas fuertemente intervenidos y vastas zonas donde la agricultura se viene practicando desde hace más de un siglo, es posible detectar un intenso reemplazo de tierras para uso agrícola. Durante el período 1988-2002 la superficie de cultivos anuales en la provincia de Buenos Aires incorporó más de 1.200.000 hectáreas (el equivalente aproximado a sesenta veces la superficie de la ciudad de Buenos Aires), llevando el porcentaje de la superficie cubierta con cultivos anuales en la provincia del 20% a casi el 26%. Si bien la agriculturización en la provincia de Buenos Aires es un fenómeno generalizado y en aumento, la magnitud de este proceso varía entre las diferentes subregiones o unidades ecológicas de la región pampeana contenidas en la provincia (figura 1): mientras en la pampa ondulada los parches con campos de cultivos son los que dominan la matriz del paisaje, en la pampa deprimida —ocupada en su mayor parte por la cuenca del río Salado— las limitantes edáficas han restringido el ingreso de cultivos en muchas zonas, por lo que los campos ganaderos bajo pastizales naturales o seminaturales continúan siendo los elementos dominantes del paisaje, en tanto que la pampa interior y la pampa austral presentan valores intermedios de agriculturización.

La agriculturización ha generado a su vez una serie de cambios en la práctica de la actividad ganadera. Una de las principales consecuencias ha sido el reordenamiento

territorial de la ganadería y la reducción de la superficie ganadera, particularmente de los campos de invernada. Este proceso ha impulsado, por un lado, una mayor intensificación de la ganadería, de modo que ahora el engorde es realizado con mayor frecuencia con algún tipo de suplemento nutricional o con alimentación a corral de los animales y, por otro, ha conducido al desarrollo de ganadería en áreas hasta entonces consideradas marginales, como en la zona de islas del Delta del Paraná. Otra consecuencia importante ha sido la concentración de la hacienda y el aumento de la carga animal en las áreas que quedan disponibles para la ganadería (pastizales naturales, montes, verdeos y pasturas implantadas). En ciertos casos, este aumento en la carga animal no ha sido acompañado con medidas de manejo orientadas a incrementar la receptividad de esas áreas, dando lugar al sobrepastoreo y la caída en los índices de preñez y destete.

Paralelamente al avance de la agricultura, hacia fines de la década de 1980 tiene lugar un proceso de mayor intensificación agrícola asociado al paulatino reemplazo del sistema de labranza convencional por el sistema de siembra directa. La siembra directa tiene la particularidad de que, al mantener el suelo cubierto por los residuos de cosecha, reduce sensiblemente las pérdidas por erosión y favorece el aprovechamiento más eficiente del

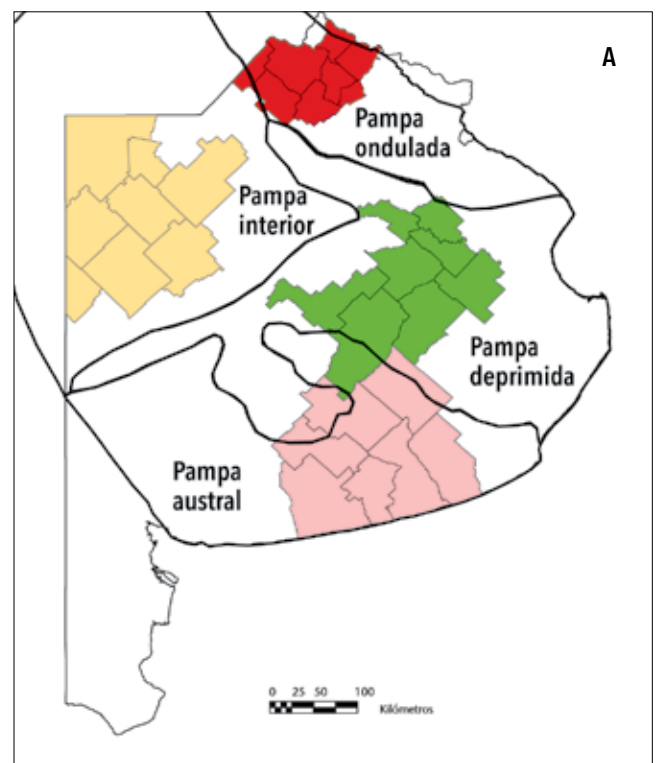
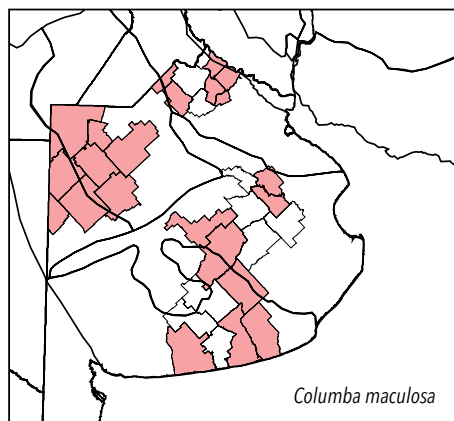
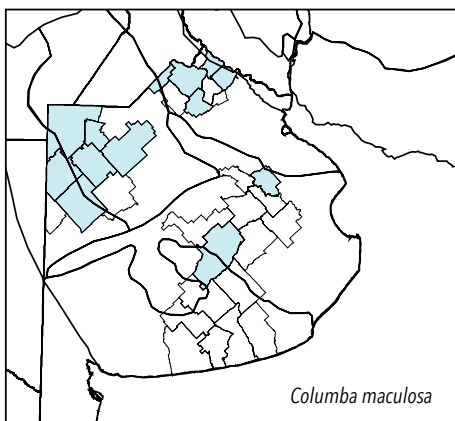
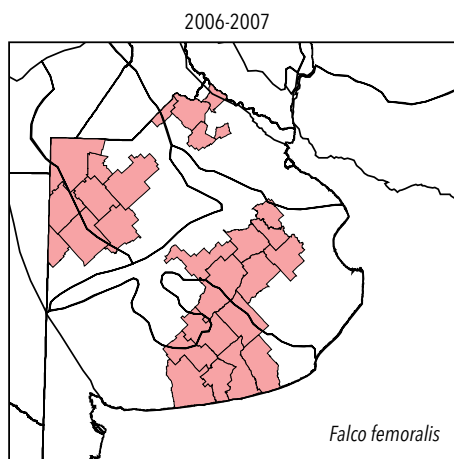
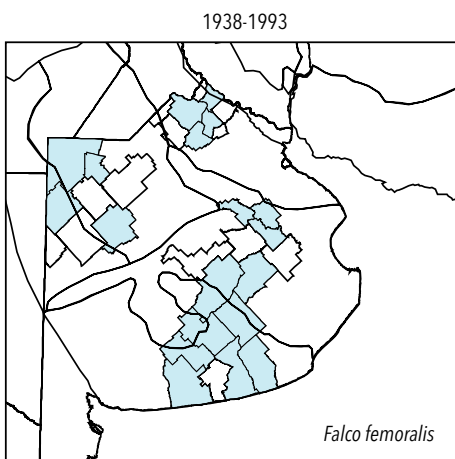
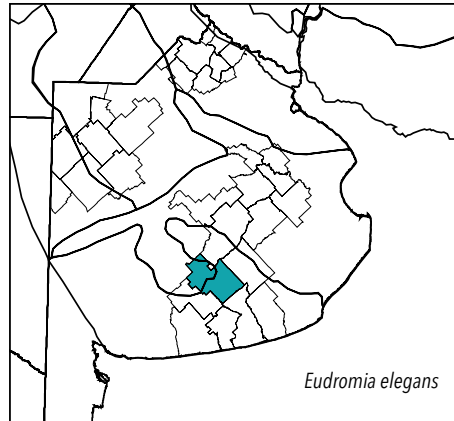
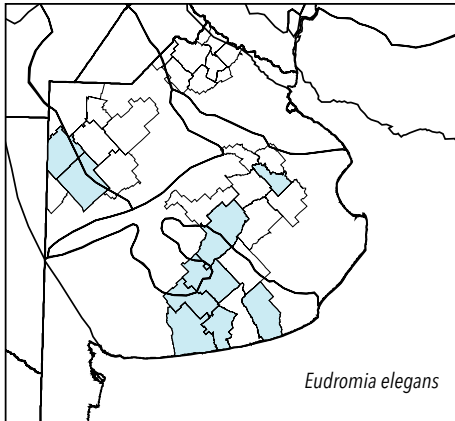
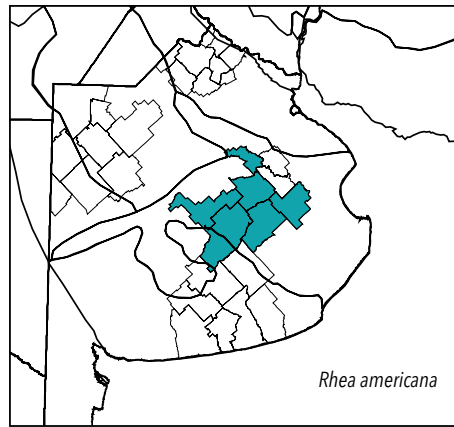
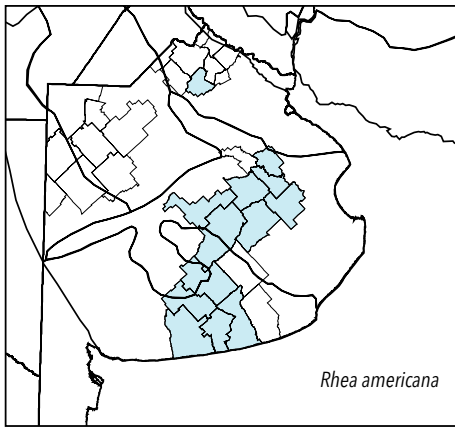


Figura 2. a) Ubicación de los treinta y dos partidos de la provincia de Buenos Aires en los que se efectuaron muestreos de aves. b) Ejemplos de dos especies que experimentaron retracción en su distribución en el área de estudio (el ñandú *Rhea americana* y la copetona *Eudromia elegans*). c) Ejemplos de dos especies que se expandieron (el halcón plumizo *Falco femoralis* y la paloma ala manchada *Columba maculosa*) entre 1938-1990 (Narosky y Di Giacomo, 1993) y el presente (2006-2007; este estudio).



B



Foto Lip Kee



Foto Vincent Smith

C



Foto Abelardo Alcántara



contenido de agua en el suelo, lo que, en parte, permitió extender la agricultura a zonas que tradicionalmente no eran agrícolas. A su vez, el menor tiempo dedicado a las labores que demanda el sistema de siembra directa junto al empleo de variedades de cultivos de ciclo corto favoreció el uso más intensivo del suelo a través del doble cultivo. Este proceso estuvo apoyado fundamentalmente en la expansión del cultivo de soja y en el incremento del doble cultivo trigo-soja de segunda, a la vez que incorporó un mayor uso de agroquímicos (fertilizantes y pesticidas). La adopción por parte de los productores del cultivo de soja –cuya incipiente introducción en la región pampeana data de mediados de la década de 1970– cobró un nuevo impulso a partir de 1996, con el lanzamiento al mercado de variedades de soja transgénica resistentes al herbicida glifosato y su excelente asociación con la siembra directa. Este proceso ha situado a la soja como el cultivo más sembrado de la Argentina (con más de 16 millones de hectáreas, cuatro de las cuales corresponden a la provincia de Buenos Aires), y a la siembra directa como el sistema de manejo dominante en las provincias que integran la región pampeana (más del 70% de la siembra de la soja de primera y del

80% de la soja de segunda, así como altos porcentajes de otros cultivos, son sembrados bajo esta modalidad).

Respuesta de las aves a los cambios en el uso de la tierra en la provincia de Buenos Aires

Como resultado de esta serie de eventos, la expansión de la superficie cultivada y los mayores rendimientos alcanzados han llevado a la producción agrícola argentina a cobrar un salto sin precedentes: con algo más de 30 millones de hectáreas ocupadas, la producción conjunta de cereales y oleaginosas ha superado el umbral de los 90 millones de toneladas, frente a las 20 millones de hectáreas ocupadas y los 30-35 millones de toneladas producidas de hace tan solo un par de décadas. Algunas de las previsiones más serias sostienen que esta tendencia continuará en aumento y que para 2015 se superaría el umbral de 120 millones de toneladas y de al menos 37 millones de hectáreas bajo uso agrícola (aunque de

Especies en retracción	Nombre común	Partidos 1938-1993	Partidos 2006-2007	Cambio relativo (%)	PAL	CES	RAD	CUL	ACO	VAL
<i>Rhea americana</i>	Ñandú	13	6	-54	*N	*				*
<i>Eudromia elegans</i>	Copetona	9	1	-89	*N					*
<i>Asio flammeus</i>	Lechuzón de campo	25	9	-64	*N		*			*
<i>Asthenes hudsoni</i>	Espartillero pampeano	14	6	-57	*N					*
Especies en expansión										
<i>Falco femoralis</i>	Halcón plumizo	19	28	+47		*	*	*	*N	*
<i>Columba maculosa</i>	Paloma ala manchada	14	23	+64		*	*	*	*N	*
<i>Poliophtila dumicola</i>	Tacuarita azul	10	15	+50					*N	*
<i>Ammodramus humeralis</i>	Chingolo ceja amarilla	12	28	+133				*N		*

Referencias: PAL: Pasturas o pastizal alto; CES: Pasturas o pastizal corto; RAD: rastrojos, arados o disqueados; CUL: cultivos; ACO: arboledas o construcciones; VAL: vegetación sobre alambrados. N: la especie nidifica en este hábitat.

Tabla 1. Lista de especies de aves terrestres residentes que evidenciaron cambios en su distribución geográfica en treinta y dos partidos distribuidos en la provincia de Buenos Aires entre 1938-1993 (Narosky y Di Giacomo, 1993) y la actualidad (este estudio, 2006-2007), clasificadas por el tipo de hábitat más frecuentemente utilizado por cada una de ellas.

momento no se especifica la localización de esas siete millones de hectáreas adicionales que serían convertidas a la agricultura).

Algunos de los cambios ya detectados por esta serie de recientes transformaciones en los agroecosistemas de la región pampeana incluyen pérdidas de nutrientes del suelo por falta de reposición adecuada, mayores riesgos de contaminación de aguas subterráneas y de cuerpos de agua asociada al mayor uso de fertilizantes y pesticidas, y una reestructuración en las comunidades de malezas. Sin embargo, no se conocen debidamente los efectos que estas transformaciones pudieran estar generando sobre la vida silvestre. Al respecto, los antecedentes registrados en agroecosistemas ubicados en otras zonas templadas del mundo han señalado la notable sensibilidad con que las especies que integran la fauna silvestre responden a las transformaciones introducidas por el hombre en los agroecosistemas, y que comprenden desde cambios en el uso del microhábitat hasta cambios en su distribución entre las diferentes unidades que conforman la estructura del paisaje. No obstante, los efectos de estas transformaciones no son uniformes para todas las especies sino más bien diferenciales, de modo que las características particulares de cada especie (su tamaño, sus requerimientos de hábitat, sus hábitos alimentarios, su habilidad dispersiva, etcétera) suelen determinar en muchos casos las escalas espaciales de sus respuestas, con las consecuentes repercusiones que estos procesos tienen para las interacciones interespecíficas y la estructura de la comunidad.

Como parte de un estudio orientado a describir las asociaciones entre las características del paisaje rural y la abundancia y distribución de las diversas especies de aves que integran los agroecosistemas bonaerenses, así como de analizar e inferir los posibles efectos que la agriculturización podría generar sobre los ensambles de aves, iniciamos en 2006 una serie de muestreos de aves a lo largo de caminos secundarios que abarcaron treinta y dos partidos de la provincia de Buenos Aires distribuidos por las diferentes subregiones pampeanas incluidas en la provincia (figura 2). Las transectas dispuestas a lo largo de estos caminos fueron visitadas tanto en invierno como en verano para poder estimar el componente migratorio de los ensambles de aves, acumulando un total de más de 230 horas de observación.

De la comparación de nuestros muestreos con registros publicados sobre la distribución de las aves en la provincia de Buenos Aires que fueron tomados entre las décadas de 1940 y comienzos de la década de 1990 (o sea, antes de que tuvieran lugar las recientes transformaciones en los agroecosistemas bonaerenses), surge que ocho de las sesenta especies de aves terrestres que habitualmente residen en los partidos estudiados evidenciaron importantes cambios relativos en su distribución a lo largo y lo ancho de la provincia.

Un análisis más pormenorizado muestra que, de esas ocho especies, cuatro evidenciaron una profunda retracción en su distribución en los treinta y dos partidos estudiados, en tanto que las otras cuatro experimentaron una importante expansión (tabla 1). Al asociar los cambios en la distribución de las aves con sus requerimientos de hábitat y nidificación, surge que las cuatro especies en retracción son estrechamente dependientes de pastizales naturales y seminaturales como el ñandú (*Rhea americana*), la copetona (*Eudromia elegans multiguttata*), el lechuzón de campo (*Asio flammeus*) y el espartillero pampeano (*Asthenes hudsoni*), mientras que las especies que expandieron su distribución se correspondieron mayormente con aquellas asociadas a cultivos, rastrojos y arboledas/construcciones (por ejemplo, la paloma ala manchada *Columba maculosa* y el halcón plomizo *Falco femoralis*, tabla 1).

Estos resultados indican que la distribución de las aves terrestres residentes en los agroecosistemas bonaerenses es la expresión de un proceso dinámico y que en buena medida parece estar asociado a los cambios en el uso del suelo, en particular a la pérdida de pastizales altos y al incremento de cultivos y ambientes peridomésticos insertos en la matriz agrícola.

Respuesta de los pequeños mamíferos a los cambios en el uso de la tierra en la pampa ondulada

Otro grupo que permite analizar los cambios experimentados por la fauna silvestre en los agroecosistemas bonaerenses es el de los pequeños mamíferos, que han sido relativamente bien estudiados a nivel regional. La detección a fines de la década de 1950 de la fiebre hemorrágica argentina (FHA), una enfermedad endémica causada por el virus Junín y transmitida a través de roedores, impulsó el desarrollo de numerosos estudios ecológicos sobre los ensambles de pequeños mamíferos orientados a tratar de reducir el riesgo de transmisión de esta enfermedad.

Una revisión de los trampeos anuales o plurianuales efectuados en la región muestra que las especies de roedores del género *Calomys* son típicas de los parches de cultivos que constituyen actualmente la matriz del paisaje, en tanto que las especies del género *Akodon* son características de los manchones remanentes del pastizal alto que constituían la matriz original; actualmente las especies de *Akodon* ocupan también los ambientes longitudinales como los bordes de cultivos y los terraplenes de ferrocarril, donde se desarrollan comunidades de vegetación espontánea (figura 3 a y b). La mayor parte de los estudios que caracterizaron estos patrones de



Figura 3. Algunos de los principales elementos del paisaje rural pampeano, y abundancia y distribución de pequeños mamíferos en cada uno de ellos. a) Campos, terraplenes y bordes de cultivo, muchos de los cuales están siendo actualmente eliminados para sembrar cultivos.

abundancia y distribución de pequeños mamíferos datan de las décadas de 1970 y 1980, o sea, antes de que tuvieran lugar los recientes cambios en la expansión e intensificación agrícolas y la introducción masiva de la siembra directa en la región, lo que motivó el desarrollo de estudios más actualizados para describir los posibles cambios que pudieran haberse suscitado (la aparición durante la década de 1990 de casos de síndrome pulmonar por hantavirus, SPH, en la provincia de Buenos Aires, que tiene como reservorio del virus al ratón colilargo del Plata *Oligoryzomys flavescens*, fue un factor adicional que también reavivó el interés por nuevos estudios epidemiológicos).

Los trampeos recientemente efectuados por nuestro grupo en el partido de Exaltación de la Cruz (pampa ondulada, provincia de Buenos Aires, 2003-2005) confirman que el patrón de distribución de las especies entre los campos de cultivo (ahora bajo siembra directa) y sus bordes es similar al de décadas atrás, con predominio de *Calomys* en los cultivos y de *Akodon* en los bordes con vegetación espontánea (figura 3c).

Sin embargo, un análisis comparativo de la dieta de las aves rapaces, que se alimentan fundamentalmente de roedores, mostró un significativo cambio en la composición de las muestras actuales respecto de las obtenidas para la misma zona en 1985-1986. Este cambio estuvo caracterizado por un aumento relativo de las especies del género *Calomys*, numéricamente dominantes en los cultivos, en desmedro de *Akodon*, la especie numéricamente dominante en los bordes de cultivos, pastizales remanentes y ambientes con vegetación espontánea. La diferencia entre las muestras actuales y las de la década de 1980 es consistente con los cambios en el uso de la tierra experimentados en el partido de Exaltación de la Cruz, donde entre 1988 y 2002 la proporción de cultivos aumentó 65%, mientras que la cobertura de pastizales naturales disminuyó 24%.

Los bordes con vegetación espontánea que rodean a muchos cultivos continúan siendo el tipo de hábitat que conserva la mayor riqueza y abundancia relativa de pequeños mamíferos en el paisaje rural (figura 3). Paradójicamente, pese a que varios estudios destacan los servicios ambientales que los bordes de cultivos prestan a la agricultura a través de la provisión de refugio para numerosas especies de insectos que actúan como polinizadores o como agentes de control de plagas de los cultivos, basta hacer un corto viaje por la pampa ondulada para comprobar hasta qué punto los bordes están desapareciendo a manos de los cultivos, expandiéndose incluso por las banquinas de rutas y caminos secundarios (figura 3a). Al verse interrumpida por cultivos, la trama de bordes y alambrados en el paisaje agrícola está perdiendo así no solo su papel como hábitat remanente para la flora y fauna nativas, sino que podría perder incluso su función como corredor biológico en el paisaje,

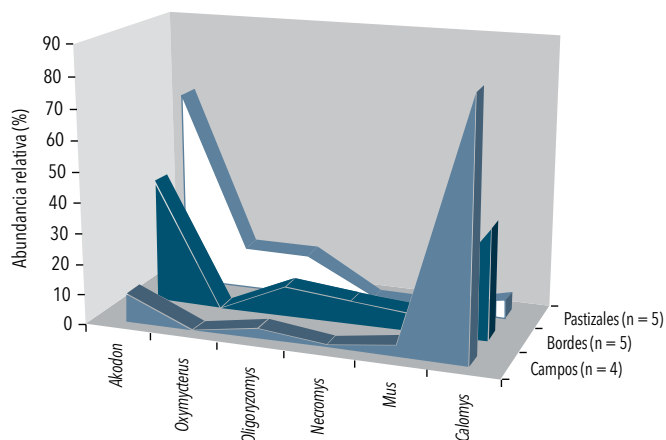
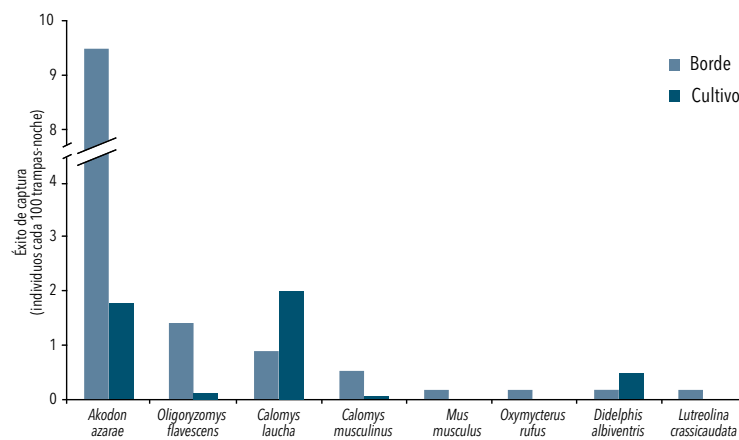


Figura 3 cont. b) Composición porcentual promedio de los géneros de roedores encontrados en ensambles correspondientes a diferentes tipos de hábitat localizados en agroecosistemas de la región pampeana (pastizales, campos de cultivos y bordes de cultivos).



c) Variación en la abundancia de pequeños mamíferos capturados en campos de cultivo y sus bordes adyacentes en el partido de Exaltación de la Cruz, pampa ondulada, provincia de Buenos Aires, 2003-2005.

impidiéndose así la recolonización de hábitats y el mantenimiento de la biodiversidad.

En síntesis, estos resultados preliminares sugieren que la expansión del área cultivada, así como la pérdida de ambientes con vegetación espontánea como los bordes de cultivos, se traduce en cambios que afectan la abundancia y distribución de pequeños mamíferos – particularmente roedores– en los agroecosistemas de la región. Estos cambios no solo podrían modificar la estructura de los ensambles de micromamíferos sino también repercutir sobre las especies que conforman los eslabones superiores de la trama trófica y que se alimentan principalmente de ellos, como las aves rapaces.

A modo de conclusión

Durante los últimos años, hemos oído mucho acerca de los profundos cambios que se están produciendo en la flora y fauna de las regiones templadas del globo [...]. Si estos cambios se toman meramente como una evidencia del progreso material, deben ser motivo de regocijo para aquellos que están satisfechos y más que satisfechos con nuestro sistema de civilización o método de superar la naturaleza por la remoción de todos los obstáculos [...]. A aquel que encuentra placer en las cosas tal como existen en regiones vírgenes de los dominios de la naturaleza [...] le es permitido lamentarse por el aspecto alterado de la superficie terrestre [...]. Con más frecuencia tenemos noticias de Norteamérica, Nueva Zelanda y Australia en relación con esto, pero en ninguna parte del globo la civilización 'ha escrito sus extrañas deformaciones' más marcadamente que en esa enorme planicie llamada las pampas.

Este párrafo, que quizá para algunos bien podría semejarse a una descripción bastante ajustada al contexto actual, corresponde en realidad a la introducción de Un naturalista en el Plata (1892), una de las más bellas páginas escritas por el naturalista y escritor William Henry (Guillermo Enrique) Hudson, quien retrató como pocos las características singulares de la fauna pampeana y la be-

lleza de sus inmensos pastizales. Hudson había nacido en Veinticinco Ombúes –actual partido de Quilmes, provincia de Buenos Aires– en 1841 y habitó en nuestras pampas hasta 1874. En una breve síntesis, este extracto del relato de Hudson logra poner de manifiesto dos aspectos clave, a saber: 1) que la percepción acerca de la transformación del paisaje y la pérdida de la biodiversidad en la región pampeana datan de hace por lo menos unos ciento treinta años, y 2) que ya desde entonces primaba la visión de que tal transformación debía tener como objetivo fundamental el aumento de la producción en los agroecosistemas.

En el otro extremo, y en paralelo a esta visión productivista, la visión que primaba por entonces entre los conservacionistas –y que continúa vigente aún hoy en determinados círculos– enmarcaba a la conservación como una tarea cuyo principal propósito era proteger la naturaleza, entendiendo que esa protección pasaba por mantener la naturaleza al margen de las transformaciones humanas (el propio texto de Hudson parece inspirar esta visión).

En el caso que nos ocupa, cabe señalar que es altamente deseable que se establezcan nuevas áreas protegidas en la región pampeana ya que, de acuerdo con datos oficiales, la superficie cubierta por algún tipo de área protegida en las pampas apenas alcanza al 1,05%, cifra que está muy por debajo de las recomendaciones internacionales en la materia, que señalan que una ecorregión debería contar con al menos el 10-15% bajo algún tipo de protección (pública, privada, de uso totalmente restringido o bajo cierto tipo de manejo, etcétera). Al respecto, los esfuerzos de identificación de áreas de interés para la conservación en la región pampeana realizados por organizaciones ambientalistas, como las áreas valiosas de pastizal (AVP) compiladas por la Fundación Vida Silvestre Argentina, o las áreas de importancia para la conservación de las aves (AICA) reunidas por Aves Argentinas, per-

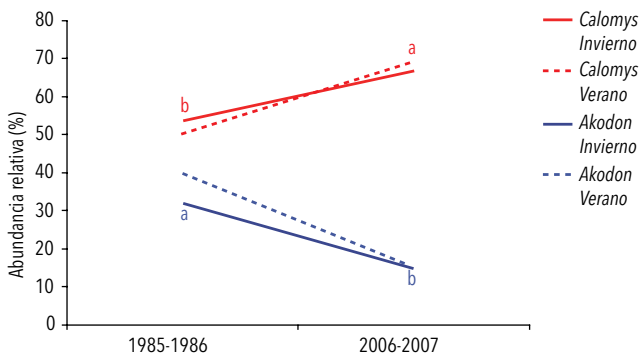
ESTUDIO DE LA DIETA DE AVES RAPACES: UNA HERRAMIENTA PARA ANALIZAR CAMBIOS EN EL AMBIENTE

La lechuza de los campanarios, *Tyto alba*, es una especie cosmopolita con una amplia distribución en nuestro país. El análisis de las egagrópilas o bolos de regurgitación que expelen las lechuzas luego de cada ingesta constituye una potente herramienta para estudiar su dieta, tal como ya se lo ha abordado con éxito en agroecosistemas templados de Europa, Norteamérica y de nuestro país. Los restos óseos que aparecen en los bolos, particularmente las mandíbulas de los roedores, tienen elementos diagnósticos que permiten identificar, en muchos casos a nivel de especie, las frecuencias de las especies de las cuales se alimentan las lechuzas.

En nuestro caso, analizamos los bolos de regurgitación de *Tyto alba* recolectados durante otoño-invierno y primavera-verano de 1985-1986 (Bellocq, MI, 1998, tesis doctoral, UBA) y de 2006-2007 (este estudio) procedentes del partido de Exaltación de la Cruz, en la provincia de Buenos Aires. En ambas épocas del año, la diferencia en la composición de ambas muestras es estadísticamente significativa (pruebas de diferencias de proporciones; $P < 0,001$), con un aumento relativo de *Calomys*, que dominan en los campos de cultivo, y una reducción significativa en las muestras en el porcentaje de *Akodon azarae*, la especie numéricamente dominante de los pastizales y otros ambientes naturales.



Este cambio relativo en la composición de la dieta es consistente con los cambios en los principales usos de la tierra en el partido de Exaltación de la Cruz, según lo reflejan los datos de los censos agropecuarios efectuados por el INDEC 1988-2002.



Exaltación de la Cruz	Superficies ocupadas		Variación relativa
	1988	2002	
Cultivos anuales	31%	51%	65%
Pasturas	22%	14%	-40%
Pastizales naturales	40%	30%	-24%

miten ser optimistas, ya que se podría elevar el valor de la superficie protegida actual del 1% a un potencial que podría rondar entre el 4-10%.

Al mismo tiempo, no es menos cierto que en este contexto de profunda fragmentación del paisaje pampeano, tanto las áreas protegidas que ya estén creadas como las que puedan crearse en un futuro no pueden ser concebidas como unidades separadas de su entorno —compuesto en este caso mayormente por agroecosistemas— ya que la evidencia científica indica que su aislamiento conducirá también inevitablemente a una pérdida de su biodiversidad. Si aceptamos que vastas áreas originalmente naturales de la región pampeana ya han sido virtualmente transformadas en sistemas domesticados, debemos entonces discutir acerca de las opciones que contamos hoy para llevar a cabo ese proceso de domesticación de modo que la transformación de los paisajes y ecosistemas redunde en un bienestar humano en equilibrio con su entorno.

En la definición dada al inicio de este artículo ya habíamos señalado que el establecimiento de agroecosistemas tiene por objeto la producción de alimentos y otras materias primas. No obstante, también es cierto que otro aspecto distintivo de esa definición es que se tratan de sistemas manejados con diversos propósitos. En la actualidad hay un creciente consenso en la necesidad de ampliar el rango de objetivos de manejo en los agroecosistemas de modo que, sin resignar el objetivo productivo como un aspecto central, se contemplen también simultáneamente la concreción de otros objetivos adicionales de similar valor e importancia, como algunos de los que ya fueron mencionados a lo largo de este artículo: mitigación del cambio global, reducción de riesgos de contaminación

de acuíferos, mantenimiento de la correcta provisión de servicios ambientales (muchos de los cuales redundan a su vez en una mayor producción) o conservación de la biodiversidad, entre otros. La inclusión de estos nuevos objetivos implica concebir la actividad agropecuaria como una tarea llevada a cabo por *manejadores* del ambiente, y no tan solo por *productores*, como suele describirse habitualmente a quienes trabajan en el campo.

En los agroecosistemas de la región pampeana tanto la producción de alimentos y fibras como la provisión de servicios ambientales y la conservación de la biodiversidad dependen prácticamente de las mismas tierras. Un paso hacia la resolución de este aparente conflicto requiere, entre otros aspectos, desarrollar una agenda de investigación en la cual, de manera acoplada y simultánea al desempeño de diferentes ensayos de manejo agronómico, se evalúen los cambios asociados en la composición de especies y en la estructura y el funcionamiento de los procesos del sistema. La concreción de este tipo de estudios, desarrollados en diferentes escalas espaciales (el lote, el establecimiento rural, la unidad de paisaje, etcétera) permitirá seguidamente elaborar manuales de buenas prácticas de manejo que sean capaces de conciliar los objetivos productivos, ambientales y de conservación. **CH**

Este trabajo fue realizado con el apoyo del CONICET y de subsidios otorgados por la Universidad de Buenos Aires (UBACYT X282 y X406) y el INTA (PNECO 1302). Agradecemos a Pablo Teta su gentil colaboración en el procesamiento de las egagrópilas, y a Carlos y Lucas Leveau, por su ayuda en parte de las tareas de campo. A Regino Cavia, por proveer las fotos de los roedores. Al revisor anónimo, por sus oportunos comentarios a una versión previa de este manuscrito.

LECTURAS SUGERIDAS

BALDI G y PARUELO JM, 2008, 'Land use and land cover dynamics in South American temperate grasslands', *Ecology and Society*, vol. 13 (2); 6 [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss2/art6/>.

HUDSON GE, 1984, *Un naturalista en el Plata*, Hispamérica, Buenos Aires.

MARTÍNEZ ORTIZ U, ACERBI M y CORCUERA J (eds.), *La situación ambiental argentina 2005*, Fundación Vida Silvestre Argentina, Buenos Aires, pp. 263-269 (disponible en http://www.vidasilvestre.org.ar/descargables/libro_imperdible/navegador.html).

NAROSKY T y DI GIACOMO A, 1993, *Las aves de la provincia de Buenos Aires: distribución y status*, Asociación Ornitológica del Plata-Vázquez Massini Editores-LOLA, Buenos Aires. *Ciencia Hoy*, vol. 15, N° 87, 2005, número especial: 'La transformación de la agricultura argentina'.

VIGLIZZO EF, FRANK FC y CARREÑO L, 2006, 'Situación ambiental en las ecorregiones Pampa y Campos y malezales', en BROWN A, MARTÍNEZ ORTIZ U, ACERBI M y CORCUERA J (eds.), *La situación ambiental argentina 2005*, Fundación Vida

Silvestre Argentina, Buenos Aires (disponible en http://www.vidasilvestre.org.ar/descargables/libro_imperdible/navegador.html).

INTERNET

Agronomía, Universidad de Buenos Aires; CONICET: <http://www.agro.uba.ar/laboratorios/lart/>

Atlas ambiental de Buenos Aires: <http://www.atlasdebuenosaires.gov.ar/>

Aves Argentinas: <http://www.avesargentinas.org.ar/>

Fundación Producir Conservando: <http://www.producirconservando.org.ar>

Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA): <http://www.vidasilvestre.org.ar>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC): <http://www.indec.mecon.gov.ar>

Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección (LART), Facultad de Secretaría de

Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos de la Nación: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>

Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación: <http://www.ambiente.gov.ar/>

Sistema de Información de Biodiversidad (SIB): <http://www.sib.gov.ar/>



Apis mellifera
Joaquim Cazorla, www.flickr.com

**Lucas A Garibaldi,
Carolina L Morales**

Laboratorio Ecotono, Instituto de
Investigaciones en Biodiversidad y
Medioambiente, Conicet-Universidad
Nacional del Comahue, Bariloche

Natacha P Chacoff

Instituto Argentino de Investigaciones de
las Zonas Áridas, Conicet, Mendoza

Lorena Ashworth

Instituto Multidisciplinario
de Biología Vegetal,
Conicet-Universidad Nacional de Córdoba

Marcelo A Aizen

Laboratorio Ecotono, Bariloche

Los polinizadores en la agricultura

La cantidad y la calidad de una cosecha se encuentran limitadas por múltiples factores. La falta de agua o nutrientes y la incidencia de plagas o malezas pueden reducir el número y tamaño de las frutillas cosechadas en una parcela de Lules, en Tucumán, o la producción de una hectárea de trigo en el sur de Buenos Aires. Otro factor que condiciona el rendimiento de las cosechas es la *polinización*, que es la transferencia de polen de los órganos masculinos de la flor a los femeninos, lo que hace posible la formación de frutos y semillas. En muchos casos la polinización es el resultado de la actividad de animales *polinizadores* como abejas, abejorros y colibríes, cuya ausencia o escasez también puede limitar el rendimiento de ciertos cultivos.

¿Cuándo actúan los polinizadores?

La mayoría de las plantas de las que nos alimentamos producen flores, que los polinizadores visitan comúnmente en busca de alimento, pues para ellos el néctar es

fuente de energía y su polen lo es de proteínas. El néctar es un líquido azucarado cuya única función en el vegetal parece ser recompensar a los polinizadores; el polen, en cambio, contiene los gametos masculinos que intervienen en la reproducción sexual de la planta, pero también constituye el alimento principal de los estadios larvales de muchas especies de abejas.

Cuando insectos polinizadores visitan flores, el polen de las anteras de estas se adhiere a los cuerpos de aquellos, y luego pasa al estigma de la misma flor o de otra (figuras 1 y 2). Cuando la polinización es exitosa, el polen depositado en el estigma germina y forma tubos que transportan los gametos masculinos a través del estilo hasta alcanzar los óvulos en el ovario. Entonces, los óvulos —que contienen los gametos femeninos— resultan fertilizados.

Los óvulos fertilizados se transforman en semillas y el ovario se convierte en fruto. De esta manera, las plantas —que son organismos poco móviles— se benefician del movimiento de los polinizadores para dispersar sus gametos masculinos y lograr descendencia mediante reproducción sexual. Si los polinizadores son escasos o poco eficientes, la polinización puede fallar, sea porque

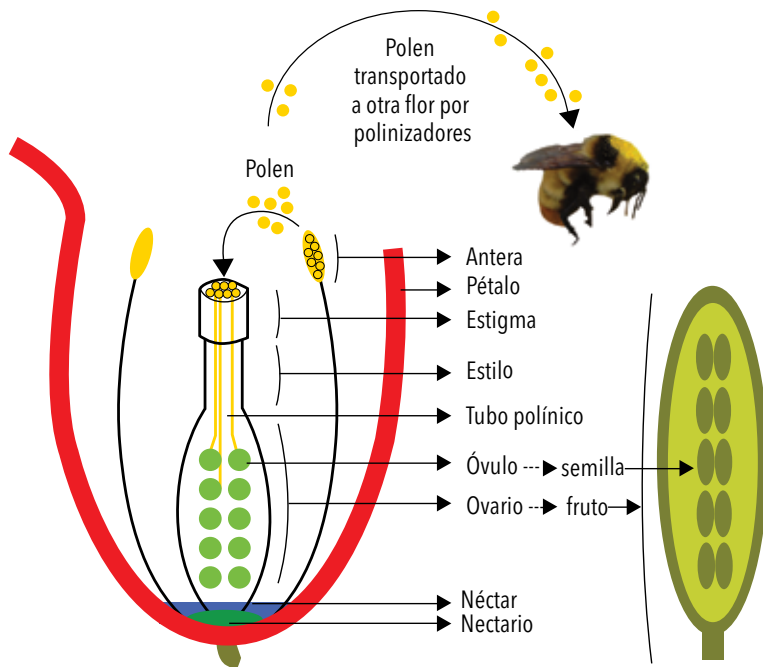


Figura 1. Esquema preparado por los autores de una flor y de su proceso de fertilización.



Figura 2. Una abeja transporta de una flor a otra el polen que se le adhirió cuando ingresó en la primera para succionar néctar. Foto Wenjihel, www.flickr.com.

la cantidad o la calidad del polen transportado resultan deficientes, o porque el momento cuando es depositado en el estigma no es adecuado para la germinación. Como consecuencia, el número de semillas y frutos puede reducirse y afectar la reproducción de las plantas silvestres, así como el rendimiento de muchos cultivos.

¿Qué cultivos dependen de polinizadores?

Se ha estimado que el 70% de los cultivos incrementa en mayor o menor medida su producción cuando sus flores son visitadas por polinizadores. Pero los cultivos de consumo masivo, como trigo, arroz, maíz y otros cereales, que representan en peso cerca del 70% de la producción agrícola mundial, no dependen de polinizadores, ya que es principalmente el viento el que transporta su polen. Tampoco depende en forma directa de polinizadores el rendimiento de cultivos cuyos tubérculos, raíces, tallos u hojas consumimos, como la mayoría de las verduras y hortalizas, aunque la producción de semillas para sembrarlos puede verse afectada por esa dependencia.

Hay, por otro lado, cultivos cuya producción sería prácticamente nula en ausencia de polinizadores, como el cacao, la nuez de Pará y la vainilla. Dado su alto valor de mercado, la polinización de estos cultivos no se deja librada a la naturaleza, sino que se maneja activamente,

sea preservando el hábitat de sus polinizadores naturales (para el cacao y la nuez de Pará), acercando colmenas de abeja melífera a las plantas durante la floración o polinizando manualmente las flores (como se hace con la vainilla). Las cucurbitáceas (zapallos, sandías, melones, etcétera) también constituyen un ejemplo de alta dependencia de polinizadores, particularmente de abejas grandes que actúan de manera efectiva en sus enormes flores (figura 3).

Sin embargo, la mayoría de los cultivos depende parcialmente de polinizadores. La desaparición de estos produciría una reducción limitada, aunque importante, de la producción, como se puede apreciar en el cuadro que detalla los cultivos realizados en la Argentina cuyo rendimiento disminuiría más de 40% en ausencia de polinizadores. La reducción no es mayor porque una proporción variable de frutos se produce por autopolinización, es decir, con polen de la misma flor y sin intervención de animales; también hay frutos que se forman asexualmente, es decir, se desarrollan a pesar de que las flores no reciban polen, como sucede con algunas bananas y determinadas variedades de cítricos. Ejemplos de dependencia parcial por esas razones son la mayoría de las oleaginosas (girasol, canola, soja y otros) y los frutales, tanto de zonas templadas (manzanas, duraznos, peras, ciruelas, etcétera) como subtropicales y tropicales (entre ellos café, papaya, mango y palta). A pesar de esta dependencia incompleta, la reducción en el rendimiento de muchos de esos cultivos en ausencia de polinizadores puede superar el 50%.

La diversidad de los polinizadores

La palabra *polinizador* parece remitirnos inmediatamente a las abejas criadas en colmenas (*Apis mellifera*) cuya miel consumimos (figura 4). Si bien es indiscutible la importancia de esa especie, domesticada hace miles de años, nuestra agricultura también depende de polinizadores silvestres de cada región. Estos contribuyen de manera importante a la polinización de cultivos alejados de colmenas, así como de aquellos que no son polinizados eficientemente por la abeja melífera. Incluso se ha demostrado que los polinizadores silvestres favorecen la acción polinizadora de las abejas melíferas en el girasol, pues influyen sobre su comportamiento.

Los polinizadores pueden ser tanto invertebrados como vertebrados. Entre los primeros, el grupo más importante está formado por los insectos, sobre todo las abejas o miembros de la superfamilia *Apoidea*, con más de veinte mil especies, entre ellas la citada abeja melífera. Mariposas, polillas, moscas (figura 5) y escarabajos, que se alimentan de néctar (mariposas) o polen (escarabajos), también pueden ser polinizadores eficientes. Entre los vertebrados, el néctar es la principal fuente de energía para ciertas aves, como los colibríes americanos de la familia *Trochilidae*, las aves del sol africanas de la familia *Nectarinidae* y los comedores de miel de Oceanía de la familia *Meliphagidae*. Algunos mamíferos, como ciertos murciélagos de los trópicos, son importantes polinizadores de agave, ceiba o kapok, pitahaya o *dragon fruit* y de varias especies ornamentales.

No existe el polinizador ideal de todos los cultivos en todas las circunstancias. El éxito de la polinización depende de características complementarias del animal (su tamaño, ciclo de vida, comportamiento de forrajeo, requerimientos nutricionales y de hábitat) y del cultivo (tamaño y forma de la flor, recompensa que ofrece, época de floración, grado de autocompatibilidad). El éxito también depende del clima, del tipo de manejo (por ejemplo, campo o invernadero) y de la interacción entre las distintas especies de polinizadores presentes, entre otros factores. Por ejemplo, los abejorros (*Bombus spp.*), capaces de realizar zumbidos de cierta frecuencia, son buenos polinizadores de tomates y arándanos, cuyas anteras necesitan de esa polinización vibrátil para liberar el polen. En otras plantas con flores de gran tamaño, como el maracuyá, solo abejas corpulentas, como las carpinteras (*Xylocopa spp.*) pueden contactar con su cuerpo las estructuras reproductivas de la flor. En cuanto a las restricciones climáticas, los abejorros permanecen activos a bajas temperaturas, por lo cual son aptos para polinización de cultivos en climas fríos, o de floración en la primavera temprana, mientras que algunas abejas sociales sin aguijón (*Melipona spp.*) son eficientes polinizadores de cultivos como café, palta y pimientos en regiones tropicales.



Figura 3. Una abeja melífera (*Apis mellifera*) visita una flor de zapallo (*Cucurbita maxima*). Foto LAshworth

Figura 4. Una abeja melífera visita flores de pomelo (*Citrus paradisi*). Foto N Chacoff

Figura 5. Las abejas no son los únicos polinizadores: una mosca (*Toxomerus spp.*) come polen de una flor de gallardia (*Gaillardia aristata*), planta natural de América del Norte de la familia del girasol. Foto L Garibaldi

Importancia de los polinizadores para la agricultura

Si en líneas generales aproximadamente el 70% de las plantas cultivadas en el mundo dependen de polinizadores para la producción de frutos y semillas, ese valor oscila según las regiones: se estima que alcanza el 84% en la Unión Europea, 85% en México y 74% en la Argentina, aunque la dependencia de la mayoría de los cultivos es parcial. Todavía queda trabajo de investigación por realizar para entender cómo varía el nivel de dependencia según las condiciones de cada cultivo, su variedad y sus polinizadores.

En los últimos cincuenta años el área con cultivos que dependen de polinizadores aumentó en el mundo más que el área con cultivos no dependientes de ellos (figura 6). En la Argentina, el 66% del área cultivada en 2008 pertenecía al primer grupo y consistía principalmente de soja (53%) y en menor medida (13%) de girasol y algodón (ver otros ejemplos en el cuadro 'Cultivos realizados en la Argentina cuyo rendimiento disminuiría más de 40% en ausencia de polinizadores'). En el mundo, los cultivos dependientes ocupaban alrededor del 30% del área agrícola en 2008; la soja, el 8%. A pesar de la importancia de la soja en la Argentina, no hay estudios que cuantifiquen su dependencia de la polinización, mientras que algunos realizados en Bra-

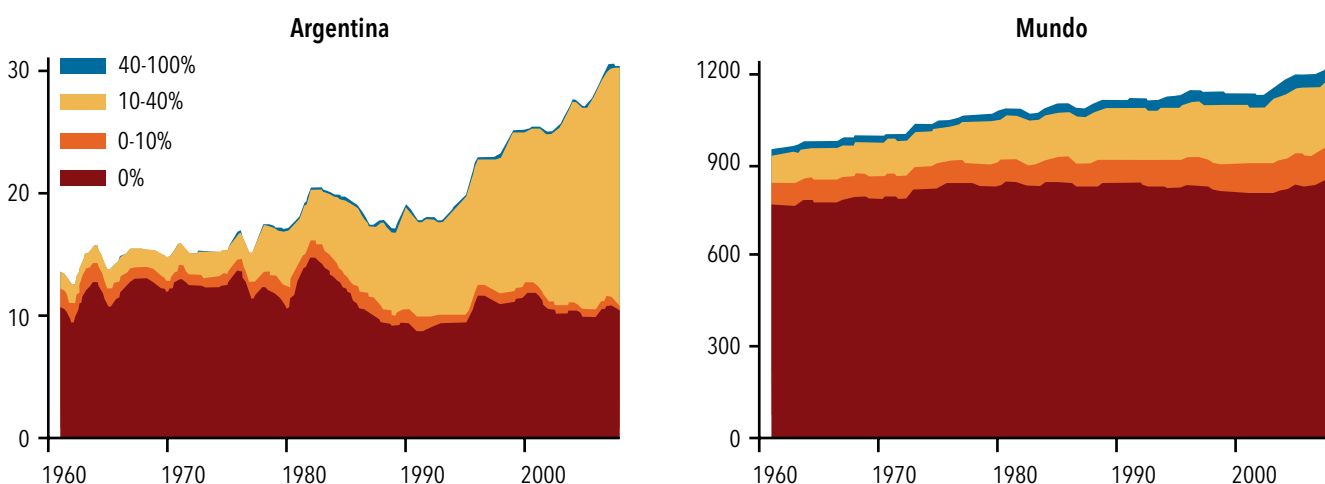


Figura 6. Evolución entre 1961 y 2008 del área cultivada (medida en millones de hectáreas) en la Argentina y el mundo, con indicación, por los cambios de colores, del grado de dependencia de polinizadores de los cultivos. Si bien la soja es considerada moderadamente dependiente (10-40%), se requieren más estudios para afirmarlo con razonable seguridad para un rango amplio de variedades cultivadas.

Cultivos realizados en la Argentina cuyo rendimiento disminuiría más de 40% en ausencia de polinizadores.

Fuentes de la figura 6 y del cuadro. Para el grado de dependencia de los cultivos, AM Klein et al., 2007, 'Importance of pollinators in changing landscapes for world crops', *Proceedings of the Royal Society B*, 274: 303-313, en <http://rspb.royalsocietypublishing.org/content/274/1608/303.abstract>. Las áreas cultivadas son promedios del período 2004-2008, según la FAO en <http://faostat.fao.org/site/526/default.aspx>.

Cultivo	Nombre científico de la planta	Área cultivada (ha)
Manzana	<i>Malus domestica</i>	43.400
Durazno	<i>Prunus pérsica</i>	25.800
Anco, calabaza, zapallo, zapallito	<i>Cucurbita maxima, C. mixta, C. moschata, C. pepo</i>	20.400
Pera	<i>Pyrus communis</i>	19.520
Ciruela, endrino	<i>Prunus domestica, P. spinosa</i>	15.547
Sandía	<i>Citrullus lanatus</i>	9.163
Damasco	<i>Prunus armeniaca</i>	2.300
Cereza, guinda	<i>Prunus avium, P. cerasus</i>	1.363
Palta	<i>Persea americana</i>	551
Almendra	<i>Amygdalus communis</i>	260

sil indican que los polinizadores aumentarían su rendimiento entre el 38% y el 58%.

¿Está en riesgo la polinización?

A diferencia del control de malezas, herbívoros, microorganismos patógenos y sus vectores, que es parte normal de las prácticas agrícolas, rara vez se maneja de modo directo la polinización de los cultivos. Constituye, por lo tanto, algo provisto por la naturaleza, o técnicamente un servicio del ecosistema, aunque en algunos casos resulta una consecuencia no intencional de actividades cercanas, como la producción de miel. Téngase en cuenta que los cultivos altamente productivos florecen con intensidad durante períodos relativamente cortos, que podrían no alcanzar a satisfacer los requerimientos de fecundación de una gran proliferación de flores, incluso si las comunidades residentes de polinizadores se encuentran en buen estado y muy activas.

Los servicios naturales de polinización están decreciendo en diversas partes del mundo por una menor abundancia o diversidad de polinizadores (por ejemplo, por extinción local o mundial de especies). Esa disminución se debe en parte a la pérdida de hábitat natural debido a circunstancias como la deforestación y la homogeneización del paisaje agrícola (figuras 7 y 8). La destrucción de ambientes naturales elimina plantas que proveen alimento a los polinizadores, además de sitios adecuados para su nidificación y procreación. Y desde hace años en la Argentina, donde en 2008 la soja ocupó el 53% de la superficie cultivada, lo mismo que en otros países, está disminuyendo la diversidad de cultivos, están desapareciendo los alambrados para aumentar la superficie cultivable y el mayor uso de productos agroquímicos reduce la diversidad y abundancia de plantas y de los polinizadores que estas sustentan (figura 9). Sin embargo, muchos polinizadores silvestres pueden encontrar sitios habitables en campos agrícolas, por ejemplo, en las cercanías de los alambrados donde subsisten plantas silvestres, como así también en los cultivos que proveen de recursos alimentarios (figuras 10 y 11). Jardines, pequeñas arboledas o parcelas en que se conserve la vegetación silvestre también pueden ser importantes.

A pesar de que miles de especies participan mundialmente en la polinización, solo unas pocas son criadas. De ellas, la principal es la mencionada abeja melífera, pero el aumento de enfermedades y de plagas en sus colmenas observado en los últimos años ha puesto en peligro el éxito de sus funciones. Aunque en los Estados Unidos los agricultores pagan la polinización brindada por colmenas, la cantidad de estas se redujo a la mitad en los últimos cuarenta años y llevó a un aumento del precio del servicio. También decreció el número de colmenas en Gran Bretaña y muchos países de la Eu-



Cambio del uso de la tierra, una de las causas de la menor abundancia y diversidad de polinizadores.

Figura 7. Fuego programado en las cercanías de Balcarce. Foto A Sáez

Figura 8. Cultivo de caña de azúcar irrigado por gravedad en Salta, al pie de cerros con selva de yungas. Entre la caña y los cerros hay plantaciones de cítricos, que requieren la acción de polinizadores. Tanto la caña de azúcar como los cítricos reemplazaron selva nativa. Foto D Saravia Patrón

ropa oriental. Sin embargo, como hubo aumento de la actividad apícola en países productores de miel, como la Argentina, China y España, la cantidad mundial de colmenas creció cerca de 50%. Pero estudios recientes indican que la superficie con cultivos dependientes de polinizadores creció más rápido que esa cantidad. Y debido a que la polinización ocurre localmente, que haya más colmenas en la Argentina no compensa el déficit de polinización en otros países. En consecuencia, es probable que la importancia de los polinizadores silvestres,

La frambuesa (*Rubus idaeus*) es una rosácea, como lo son manzanas, almendras, frutillas y cerezas. Es una de las frutas más cultivadas en algunos valles cordilleranos de la Patagonia. La flor está compuesta por numerosos estigmas, cada uno asociado con un ovario que contiene un óvulo, la futura semilla. El fruto resultante, con varias semillas, se llama *polidrupa*, a diferencia de los frutos con una sola semilla, como los duraznos, llamados *drupas*.



Polinizador silvestre (posiblemente la abeja nativa *Ruzicoides mutabilis*) visitando flores de frambuesa.



Planta de frambuesa con frutos.

Dado que el crecimiento de cada pequeña drupa es regulado por el óvulo fertilizado, para que el fruto sea simétrico y alcance su tamaño máximo, cada estigma debe recibir granos de polen que fertilicen efectivamente cada óvulo. Es decir, no solo es necesario que llegue polen abundante, sino también que resulte uniformemente distribuido dentro de la flor.

En una plantación próxima a El Bolsón, los autores de este artículo relevamos el porcentaje de flores que se transforman en frutos y el porcentaje de frutos malformados, es decir, registramos la cantidad y la calidad de la fructificación de flores expuestas

a polinizadores. Comparamos esos datos con los mismos indicadores constatados en flores sin esa exposición. Las primeras produjeron, en promedio, el 9% más frutos que las no polinizadas. Además, en ausencia de abejas se triplicó la incidencia de frutos malformados, lo que ocasionó una merma del 21% en los frutos con valor comercial. La polinización de ese tipo de cultivos resulta importante para muchas economías regionales, ya que su escala es pequeña o mediana y generan ingresos en el ámbito local.



Figura 9. El uso de productos agroquímicos en las tareas agrícolas mejora los rendimientos de los cultivos, pero también reduce la abundancia de polinizadores y su diversidad. En Salta, una pulverizadora autopropulsada realiza un barbecho químico, nombre que se da al control de malezas antes de la plantación o siembra. Foto D Saravia Patrón

que incluyen a las abejas melíferas salvajes, se haya incrementado en las últimas décadas.

Conservación y manejo de los polinizadores

Para promover la diversidad y abundancia de polinizadores hay que tomar medidas para proveerles alimento, es decir flores, y para que tengan hábitats específicos de apareamiento y de nidificación al alcance de su vuelo. Con esas medidas se puede estimular la presencia de polinizadores silvestres o aumentar el número de los domésticos.

En la escala zonal, los servicios de polinizadores silvestres varían según cantidad, calidad y disposición espacial de los hábitats. Dado que muchos polinizadores tienen nidos fijos en tierra o en troncos, en sitios naturales o seminaturales, y que su vuelo les significa gasto de energía, comúnmente prefieren visitar flores cerca de su nido. Compilando datos de dieciocho especies cultivadas, se ha estimado que en promedio una flor ubicada a 600m de un hábitat natural o seminatural recibe la mitad de visitas que una flor lindera con dicho hábitat.

Un paisaje heterogéneo, en el que se mezclan áreas agrícolas y naturales, puede beneficiar a los polinizadores debido a una mayor diversidad de posibilidades alimentarias y de nidificación. A su vez, mayor diversidad y abundancia de polinizadores en esos paisajes puede proveer servicios a más cultivos. Para estos propósitos resulta recomendable conservar los hábitats naturales, manejar los seminaturales (por ejemplo, los bordes de los cultivos) y promover, en general, la diversificación del paisaje agrícola (por ejemplo, mayor variedad de cultivos), que es lo opuesto de lo que está sucediendo en la Argentina y otros países.

En una chacra, entre las prácticas que pueden favorecer a los polinizadores se encuentran utilizar parcelas pequeñas, sembrar una alta variedad de cultivos a lo largo del año, aumentar la abundancia y diversidad de flores cerca de alambrados e introducir nidos artificiales o materiales para su construcción, como cañas para diversas especies de abejas del género *Megachile*, maderas para abejas carpinteras del género *Xylocopa*, o restos de hojarasca, troncos y raíces muertas para los abejorros. En la medida en que se conozca la historia natural de los po-

linizadores silvestres (ciclo de vida, enemigos naturales, recursos que utilizan, etcétera), se podrán tomar medidas específicas para promover ciertas especies particularmente eficientes. Queda todavía mucho por investigar sobre esta cuestión.

Otro asunto importante es un manejo responsable de los productos agroquímicos. Por ejemplo, el uso de insecticidas altamente específicos reduce el riesgo de eliminar involuntariamente especies beneficiosas, como polinizadores y depredadores de insectos plaga. Una medida importante es no fumigar en período de floración ni en las horas de mayor actividad de polinizadores. Actualmente, por otra parte, se estudian las ventajas de

Figura 10. Abeja silvestre nativa *Melissoptila tandilensis* en una flor de girasol. Foto M Sabatino

Figura 11. Las plantas silvestres que crecen en los bordes de un lote sembrado con girasol proporcionan un hábitat para polinizadores de ese cultivo, como la abeja que muestra la figura anterior. Foto A Sáez



las agricultura orgánica sobre la convencional en cuanto a promover la actividad de polinizadores.

Con respecto al aumento del número de especies que se logran criar, un ejemplo exitoso es la abeja *Megachile rotundata*, nativa de Europa, solitaria como la gran mayo-

ría de las especies de abejas y poco agresiva, polinizadora de la alfalfa, la zanahoria y otros vegetales. Otro ejemplo son los abejorros, polinizadores de varios cultivos de invernadero, como el tomate. Dado que en muchas regiones la abeja melífera, lo mismo que determinados

■ POLINIZACIÓN DE CULTIVOS DE POMELOS EN LAS YUNGAS ■

En el noroeste argentino, evaluamos el servicio de polinización que brindan los remanentes de selva de las yungas a los cultivos colindantes de pomelo (*Citrus paradisi*). Para ello estimamos la abundancia y diversidad de polinizadores, los niveles de polinización y la producción de frutos en función de la distancia a la selva (borde, 10, 100, 500 y 1000m) y realizamos diversas manipulaciones experimentales en las plantas.

A pesar de que se sostiene que la producción asexual de frutos es común en los cítricos, encontramos que en ausencia de polinizadores las flores produjeron solo una sexta parte de los frutos de flores polinizadas en forma natural o manual. Ello indica que la polinización por animales es necesaria para la formación de frutos en las variedades estudiadas de pomelo.

Flores de pomelo de árboles cercanos a la selva recibieron, en promedio, el doble de visitas por parte de un grupo de polinizadores tres veces más diverso que flores ubicadas a un kilómetro. La abeja melífera africanizada, vuelta silvestre en la

región y visitante principal de las flores de pomelo, también fue menos abundante a distancias mayores de 500m de la selva. La mayor disminución ocurrió entre los visitantes nativos, como abejas sin aguijón o meliponas y abejas solitarias, que desaparecieron casi completamente a pocos cientos de metros de la selva. Estas disminuciones se observaron a lo largo de tres años y en plantaciones alejadas entre sí hasta 50km, por lo que concluimos que serían habituales en la región.

Menos visitas se tradujeron en menor cantidad de polen en los estigmas (30% menos a 1000m) y en menor número de tubos polínicos en el estilo. Sin embargo, el número de frutos no decreció. Pero los resultados de experimentos en los que redujimos aun más el polen indicaron que a mayor distancia de la selva, o ante mayores disminuciones del número de polinizadores, la producción de frutos se vería afectada. En consecuencia, la conservación y restauración de áreas de selva en tierras agrícolas lleva al aumento de polinizadores, de los servicios que estos brindan y de la producción de pomelos.



Plantaciones de cítricos en tierras lindantes a selva nativa en las cercanías de Orán, Salta. Foto N Chacoff y C Monmany


abejorros, como *Bombus terrestris*, son especies invasoras que ocasionan efectos adversos a la flora y fauna nativas, la elección de polinizadores nativos para programas de cría es una alternativa importante para la conservación. En este sentido, existe un creciente interés en los trópicos y subtropicos por la cría de abejas nativas del género *Melipona*, y en zonas templadas la de ciertas especies nativas de abejorros y de abejas solitarias. En esto se han registrado algunos resultados exitosos.

Polinización y otros servicios de la vida silvestre

La promoción de la polinización mediante la conservación del medio natural favorece al mismo tiempo otros servicios brindados por la vida silvestre, como el control biológico de plagas, la protección de cursos de agua, la fijación de carbono atmosférico y la preservación de la biodiversidad. No hay que olvidar la importancia de la última como fuente de especies medicinales o de plantas alimentarias. Y tampoco es de omitir el valor recreativo del medio natural. La reproducción de 87% de las plantas con flores o angiospermas aumenta por la acción de polinizadores, los que también son alimento de animales que brindan otros servicios,

como aves que dispersan semillas, sapos que consumen insectos plaga, etcétera. Es decir, las decisiones sobre el uso de la tierra afectan habitualmente a varios servicios que provee simultáneamente la vida silvestre. Y esas decisiones no deberían solo basarse en razones utilitarias sino también en los valores culturales de la naturaleza silvestre.

Conclusiones

La humanidad se encuentra frente a varios desafíos importantes, entre ellos, aumentar la cantidad y calidad de alimento para una población creciente. Pero necesita hacerlo de manera sustentable y manteniendo los servicios de los ecosistemas y la biodiversidad. Si bien aún quedan interrogantes, actualmente sabemos que los servicios que brindan los polinizadores silvestres son importantes en la Argentina y en el mundo. A pesar de ello, es poco frecuente considerarlos en las decisiones sobre uso de la tierra y sobre prácticas agrícolas. Algunas medidas, basadas en el retorno económico de corto plazo, como la promoción de monocultivos extensivos en el tiempo y el espacio, perjudican la polinización y otros servicios de la vida silvestre, importantes para el bienestar humano actual y futuro. 

LECTURAS SUGERIDAS

AIZEN MA & HARDER LD, 2009, 'The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination', *Current Biology*, 19: 915-991.

CHACOFF NP et al., 2010, 'Pollinator dependence of Argentine agriculture: current status and temporal analysis', *The Americas Journal of Plant Science and Biotechnology*, Special Issue 1, 3: 106-116.

EARDLEY C et al., 2006, *Pollinators and pollination: a resource book for policy and practice*, African Pollinator Initiative, en <http://www.pollinator.org/Resources/Pollination%20Handbook.pdf>

FAO, 'Acción mundial sobre servicios de polinización para una agricultura sostenible', en <http://www.internationalpollinatorsinitiative.org/>

GARIBALDI LA et al., 2011, 'Global growth and stability in agricultural yield decrease with pollinator dependence', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108: 5909-5914, en <http://www.pnas.org/content/early/2011/03/18/1012431108>

- *et al.*, 2011, 'Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits', *Ecology Letters*, 14: 1062-1072, en <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1461-0248.2011.01669.x/abstract>

TELLERÍA MC y VOSSLER FG, 2007, 'Tras las huellas de las abejas polinizadoras', *CIENCIA HOY*, 100: 14-20, agosto-septiembre.



Lolium multiflorum. Foto Matt Lavin, Flickr.com.

M Alejandra Martínez-GhersaInstituto de Investigaciones Fisiológicas y Ecológicas
Vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Consecuencias ambientales del uso de pesticidas

El uso agrícola de la tierra genera cambios ambientales y alteraciones en los ecosistemas. Si bien es posible identificar algunos de los factores y procesos que impulsan esos cambios, la complejidad de los sistemas agrícolas hace difícil su jerarquización.

Los riesgos de que los insumos agrícolas (insecticidas, herbicidas, fertilizantes, enmiendas, agua de riego, organismos-cultivo, etcétera) o las formas de labranza de la tierra originen alteraciones ambientales pueden predecirse mediante investigación científica. Pero realizar una estimación certera de ellos no es tarea sencilla, ya que se fundamenta en inferencias construidas a partir de resultados experimentales que, frecuentemente, son de difícil verificación.

La primera dificultad enfrentada por los investigadores que procuran estudiar esas alteraciones —usualmente denominadas *impacto ambiental*— es identificar qué factores determinan su nivel y qué parámetros se deben medir para evaluarlas. A pesar de que en la literatura científica abundan los intentos de contestar esas preguntas, la información disponible no parece suficiente para resolver el debate sobre los beneficios y riesgos ambientales del uso de pesticidas.

La aparición del glifosato y la necesidad de determinar las consecuencias de su aplicación prolongada proporcionan una buena ilustración de la complejidad que mencionamos. Para entender el caso y analizar las consecuencias de la aplicación de ese herbicida sobre sistemas



Un tordo músico (*Agelaioides badius*), ave autóctona de la llanura pampeana, posado sobre una planta de sorgo granífero. Foto Federico Weyland

biológicos particulares, como los de la región pampeana, no podemos abstraernos de considerar las repercusiones generales de cualquier tipo de agricultura.

Durante la primera mitad del siglo XX, cuando los pastizales naturales de la región pampeana quedaron definitivamente convertidos en un paisaje agrícola, los cambios ambientales ya eran evidentes. El nuevo escenario fue el resultado de reordenamientos de la flora y la fauna locales, con lo que la distribución geográfica y la abundancia de muchas poblaciones animales y vegetales se redujeron, mientras que los de otras se expandieron. El botánico Lorenzo Parodi escribió, en 1960, que los campos y las parcelas cultivadas se distinguían por la presencia de asociaciones de plantas no autóctonas, llamadas para los ecólogos *exóticas*, que estructuraban comunidades de malezas distintas de las de los pastizales nativos.

Con el aumento del área cultivada, las comunidades de malezas presentes en tierras aradas para sembrar se enriquecieron, primero por la colonización de esas tierras por algunas especies del pastizal original, y luego porque las mismas malezas tenían gran capacidad de sobrevivir en esas tierras en labranza. Aprovechando el nuevo hábitat creado por extensas prácticas de monocultivo, muchas de las poblaciones introducidas se establecieron y expandieron en forma epidémica, lo que creó problemas serios para la producción agrícola y, por ende, para su rendimiento económico. Este fenómeno se repitió con comunidades de artrópodos, vertebrados y hongos.



Plantas de sorgo de Alepo en un cultivo de soja tratado con glifosato. Advértase que algunas plantas de la maleza sobrevivieron el tratamiento. Foto Martín Vila Aiub

Los pesticidas y las prácticas agrícolas

Como lo indica la referencia histórica del artículo ‘¿Qué son los plaguicidas?’ de este mismo número, desde alrededor de 1950 se generalizó en la agricultura pampeana el uso de herbicidas (fundamentalmente el 2,4D) y de insecticidas (principalmente clorados, como el DDT), los segundos sobre todo para controlar las orugas o isocas y las pequeñas langostas llamadas tucuras en cultivos de alfalfa. Ese uso fue variando en cuanto a los productos, pero se amplió notablemente, lo que generó las preocupaciones acerca de sus posibles efectos tóxicos sobre la salud humana enfocados en la nota ‘Plaguicidas y salud humana’, también en este número de CIENCIA HOY. En la presente nota nos concentraremos en las consecuencias ambientales de esos compuestos.

En la Argentina, el uso masivo de plaguicidas coincidió con la expansión agrícola pampeana hacia áreas de bosque chaqueño y otras de pastizales inundables, en las que se implantó una agricultura permanente. También coincidió con la técnica del laboreo reducido de la tierra o siembra directa, en reemplazo del tradicional arado de reja y vertedera que removía el suelo. La siembra directa tuvo el propósito inicial de reducir la erosión del suelo causada por el uso del arado, pero requirió que el control de las malezas de los cultivos se realizase solo con herbicidas, pues quedó eliminada la acción de dar vuelta la capa superficial de suelo por el arado. Asimismo, la diversidad de cultivos se redujo en la región y la soja dominó el paisaje agrícola.

En el último par de décadas se fue consolidando una situación por la que los insecticidas piretroides y el herbicida glifosato ocupan más de la mitad del mercado nacional de plaguicidas agrícolas. La gran extensión en la que se emplean esos productos y, sobre todo, la cantidad de herbicida aplicado más de una vez por año, aumentaron la preocupación sobre las consecuencias ambientales de su uso. La utilización de glifosato se multiplicó por más de diez en dicho período, lo que llevó, en algunos círculos, la preocupación sobre el riesgo potencial de efectos ambientales negativos a niveles de alarma.

¿Qué determina el efecto ambiental de un plaguicida?

Existe consenso acerca de que las alteraciones del ambiente causadas por los pesticidas dependen de su toxicidad, de su grado de movilidad y de su tiempo de permanencia o *residualidad* en el ecosistema.

El pesticida aplicado en un sitio puede pasar a la atmósfera por evaporación o permanecer en el suelo. En

el segundo caso, varios procesos determinan su destino final, entre otros, su retención por sedimentos o por partículas suspendidas en el agua, fenómeno denominado *adsorción*; su ingreso en el metabolismo de las plantas; su degradación por microorganismos o *biodegradación*; y su arrastre por agua o *lixiviación*, que puede causar la contaminación de aguas superficiales o profundas. Las propiedades del pesticida y del suelo, más las condiciones climáticas definen la probabilidad de que acontezcan estos procesos.

Existe gran disparidad en la literatura acerca de la capacidad de retención de glifosato por distintos tipos de suelo, lo mismo que sobre las probabilidades de su degradación. Una abundante bibliografía señala que el glifosato posee alta propensión a ser retenido por las partículas del suelo, ya que se carga eléctricamente y se adsorbe con fuerza a la materia orgánica. Con ello abandona el agua y permanece inmóvil o se mueve poco en el suelo.

Sin embargo, en suelos muy ricos en materia orgánica, el glifosato puede unirse a compuestos orgánicos solubles en agua y conservar cierta movilidad que lo puede llevar tanto a niveles más profundos del suelo como hacia aguas superficiales. En esas aguas puede intoxicar a organismos que se alimentan por filtración, como crustáceos y moluscos, o a otros que ingieren cantidades significativas de suelo durante su alimentación normal, como peces, aves, anfibios y hasta algunos mamíferos.

La adsorción del glifosato, y por lo tanto su movilidad, varían con el tipo de suelo. En aquellos ricos en óxidos de hierro, como los de Misiones, es mayor, lo que disminuiría la degradación química o biológica. La presencia de cobre disminuye la adsorción, por la formación de compuestos del herbicida con ese metal. En la región pampeana los suelos tienen características que facilitan la formación de tales compuestos, por lo que se puede esperar que la movilidad del herbicida sea reducida y no se acumule en los cuerpos de agua.

Se ha determinado que los compuestos con fósforo presentes en el suelo compiten con el glifosato por los sitios de adsorción. En consecuencia, la fertilización de campos con fósforo podría contribuir a liberar el glifosato adherido a las partículas de suelo e incrementar las probabilidades de que el herbicida llegue a los ecosistemas acuáticos.

Este fenómeno, junto con el reciente aumento de la aplicación de fertilizantes fosforados en la Argentina, motivó que se realizaran estudios orientados a comprender los efectos de la aplicación prolongada de glifosato sobre las comunidades de microorganismos acuáticos que habitan las lagunas bonaerenses. Esos estudios revelaron que agregar glifosato a piletas que simulan cuerpos de agua naturales alteró la calidad de la luz a lo largo de la columna de agua y aumentó la concentración de fósforo, a la vez que incrementó la cantidad de cianobacterias a expensas de algas de mayor tamaño. A pesar del aumento



De arriba hacia abajo. Acción del glifosato en el control de la vegetación de las banquetas de caminos y de áreas cultivadas en la pampa ondulada. La primera foto muestra el crecimiento natural de la vegetación; en la segunda se ve un cultivo de trigo (derecha) al borde de un camino desmalezado por acción del glifosato, y en la tercera se aprecia el efecto de la aplicación del herbicida tanto en el camino como en el campo de cultivo. Fotos Federico Weyland

MEDIDA BIOLÓGICA	HERBICIDAS						INSECTICIDA	NEMATICIDA	FUNGICIDA
	Atrazina	Diuron	2,4-D	Glifosato	Paraquat	Trifluralin	Clorpirifos	Aldicarb	Mancozeb
Biota del suelo									
Bacterias	0/+	+							
Hongos	0/+	-	-	-/+	-	0	0/+		-
Hongos micorríticos		0			-	0		0	0
Patógenos de las raíces		+	0	+	+	0/+		0/+	-
Biomasa microbiana	-/0	0	-/0	0/+	-	-	0	+	
Microfauna	-		-	-	-			-	0
Microartrópodos	-			-	-				-
Lombrices	-/0	0	0	0	-/0	0	-		0
Fijación de nitrógeno									
No-simbiótica	0						-		-
Simbiótica		-		-	-	-	-	-	-/0
Enzimas del suelo									
Dehidrogenasa	-		-/0/+	0/+		0	-		
Fosfatasa	-/0			-			-		
Ureasa	-/+		-	+	+				
Transformaciones de nitrógeno									
Amonificación	0		-/0	0/+				-	-
Nitrificación	0	-/+	-/0	0/+	0	0	0	0	-/0
Denitrificación	0	0/+	0	-/0/+		0	0		0
Transformaciones de carbono									
Respiración CO2	+	-	0	0	-	-/0	0	0	
Descomposición de materia orgánica	0		0		-/0	0		0	

- disminución (usualmente temporaria) / 0 (sin efecto) / + aumento (usualmente temporario)

Tabla 1. Efectos conocidos de algunos pesticidas de uso común sobre los organismos y las funciones biológicas del suelo, adaptado de C Pankhurst, 2006, 'Effects of pesticides used in sugarcane cropping systems on soil organisms and biological functions associated with soil health', *A report prepared for the Sugar Yield Decline Joint Venture*, Adelaida.

documentado de fósforo, los cambios que se constataron en las comunidades de microorganismos parecieron ser más la consecuencia del efecto directo del glifosato que la de un enriquecimiento en fósforo.

El glifosato es considerado un producto de toxicidad relativamente baja, ya que interfiere en procesos metabólicos de las plantas que están ausentes en los animales. Ejerce su acción herbicida por la inhibición de una enzima conocida por EPSPS, lo cual impide que las plantas elaboren tres aminoácidos esenciales para su crecimiento y supervivencia. El glifosato puede, sin embargo, interferir con algunas funciones enzimáticas de los animales, pero los síntomas de envenenamiento solo aparecen con dosis muy altas. De todos modos, los productos comerciales que contienen glifosato también incluyen otros compuestos que pueden ser tóxicos. Todo pesticida comercial, además del ingrediente activo, se compone de otras sustancias –llamadas surfactantes–, lo que hace que su toxicidad sea diferente a la de aquel ingrediente administrado solo. Así, un herbicida comercial con el que se aplica glifosato puede contener

cantidades pequeñas de N-nitroso glifosato, que es cancerígeno, como la mayoría de los compuestos N-nitroso derivados del glifosato, pero no se puede descartar la posibilidad de que este compuesto se forme espontáneamente en el ambiente por efecto de nitrato presente en el suelo o en fertilizantes.

Una vez que el glifosato se aplicó sobre el follaje, una parte penetra en los tejidos de la planta pero otra puede ser arrastrada por lluvias que caigan en los días siguientes a la aplicación. Aun si la planta muere como resultado de la aplicación, el glifosato permanece en los tejidos vegetales muertos. Investigaciones realizadas en bosques templados indican que el 50% de los residuos de glifosato en desechos de hojas desaparece luego de ocho o nueve días. Igual velocidad de disipación se ha observado en frutos y en líquenes. También se puede producir destrucción por luz o fotodegradación si llega suficiente radiación ultravioleta.

Se dice a menudo que el glifosato se degrada rápidamente en el suelo. Pero estudios realizados en Canadá indican que la vida media del glifosato en el suelo o en

el agua, después de una aplicación directa, puede alcanzar los 60 días. Hay estudios de campo que encontraron residuos de glifosato en el suelo y el agua, de entre el 6% y 18% del volumen aplicado, luego de un año de la aplicación.

Si bien el glifosato no se degrada rápidamente en agua estéril, en presencia de bacterias y hongos se descompone y da lugar a un ácido de baja toxicidad, y probablemente también a dióxido de carbono, según la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Se ha documentado la degradación de ese ácido a moléculas de fósforo inorgánico, que no tienen acción herbicida ni efectos tóxicos para organismos acuáticos en las concentraciones que se originarían por el uso de glifosato en la agricultura.

Efectos indeseados

Cuando se estudian las consecuencias de usar un pesticida, es necesario considerar el peligro relativo de cada uno de los caminos de dispersión del producto, así como tomar en cuenta los organismos afectados en esos caminos. De esta manera, el análisis ambiental puede llevar a definir si es más peligrosa la volatilización del producto o su percolación a aguas profundas, así como también a jerarquizar la toxicidad para lombrices o humanos comparada con la toxicidad para algas. Estas cuestiones son importantes para evaluar los efectos de los plaguicidas, sean fungicidas, insecticidas o herbicidas, teniendo en cuenta que afectan tanto a los organismos que se desea controlar, llamados *organismos blanco*, como a otros.

Algunos estudios indican que la cantidad de pesticida que entra en contacto directo o es consumida por los organismos blanco es una fracción extremadamente pequeña del total aplicado, del orden del 0,3%, lo que significa que el 99,7% va a parar a otro lugar o actúa sobre organismos que no son su blanco.

En términos generales, los estudios resumidos en la tabla indican que los herbicidas constituyen el grupo de plaguicidas que tienen los menores efectos sobre los organismos del suelo y las funciones biológicas. Todos poseen, sin embargo, cierto efecto sobre algún componente del suelo, por lo común de duración limitada a días o semanas, al cabo de los cuales tanto las comunidades del suelo como su funcionamiento recuperan valores similares a los anteriores a la aplicación.

Existe evidencia de que la aplicación repetida durante años de algunos herbicidas distintos del glifosato (como atrazina, paraquat o 2,4D) podría cambiar la estructura de las comunidades microbianas del suelo, pero no hay prueba documentada de que esos cambios redunden en disminuciones críticas de la fertilidad del suelo o del rendimiento de los cultivos. El orden de los herbicidas por sus efectos negativos observados sobre la comunidad de seres vivos o *biota* del suelo es, de mayor a menor:



Flor de espuela de caballero o conejito (*Delphinium ajacis*) visitada por una mosca del género *Toxomerus*. La imagen muestra dos organismos que no constituyen el blanco de los pesticidas pero que pueden verse afectados por la aplicación de estos. Foto Pamela Graff

paraquat, 2,4D, atrazina, diuron, glifosato y trifluralina. Una explicación del mayor efecto del paraquat es su larga persistencia, que excede los tres años.

En la Argentina se dispone de poca información sobre el efecto de los plaguicidas en las propiedades biológicas de los suelos, la que tampoco abunda en el resto del mundo. Recientemente se ha evaluado en laboratorio el efecto de tres herbicidas comerciales con metasulfuron-methyl, 2,4D y glifosato como ingredientes activos, muy utilizados en la región pampeana. Se analizaron sus secuelas en la densidad, la actividad y la riqueza funcional de las comunidades microbianas de diferentes suelos. Los resultados mostraron que las consecuencias de aplicarlos fueron muy leves, aun con dosis hasta diez veces mayores que las recomendadas. En coincidencia con estudios realizados en otros países, los cambios observados desaparecieron rápidamente y los suelos retornaron a su condición anterior a la aplicación.

También conocemos estudios locales que evaluaron las repercusiones de una aplicación repetida de productos agroquímicos sobre organismos pequeños del suelo pero detectables a simple vista, que forman la *mesofauna*. Sobre la base de información registrada durante diez años, no se constataron resultados claros atribuibles a los plaguicidas. Igualmente se están realizando estudios de larga duración sobre el efecto de la aplicación de glifosato, clorpirifos y su mezcla en la fauna y la descomposición de los residuos vegetales del suelo en condiciones de cultivo. Sus resultados preliminares indican que el glifosato reduce la viabilidad de los capullos de las lombrices de tierra y el número de individuos de estadios juveniles, pero no se detectaron efectos sobre la descomposición de los residuos vegetales.

Las repercusiones negativas de los herbicidas sobre la biología del suelo no solo deben atribuirse a la acción directa del producto, pues pueden producirse *efectos indirectos*, como la disminución de comunidades de artrópodos, tanto benéficos como perjudiciales para la

agricultura, asociados con las malezas afectadas por los herbicidas.

Organismos resistentes a los plaguicidas

Igual que con antibióticos suministrados a humanos, el uso sostenido de un mismo plaguicida suele generar resistencia en las poblaciones de plagas que se procura controlar. Para el glifosato, por las características de su principio activo, se esperaba un reducido desarrollo de resistencia por parte de las malezas, pues no se conocían mutaciones del gen que codifica la mencionada enzima EPSPS.

Además, la complejidad de las manipulaciones genéticas realizadas en laboratorio para lograr cultivos resistentes al glifosato llevó a considerar poco probable que otras plantas se volvieran resistentes en forma natural. Pero en 1996 apareció en Australia una población de un pasto (*Lolium rigidum*, una especie de ryegrass) resistente a ese compuesto, y desde entonces se han difundido noticias de una decena de otras especies con esas características en varios países.


En la Argentina se ha encontrado esa resistencia en poblaciones de una importante maleza de cultivos de verano, el sorgo de Alepo (*Sorghum halepense*), lo mismo que casos de supervivencia al herbicida en ejemplares de los pastos *Lolium multiflorum* y *L. perenne*. Esas evidencias indican que es biológicamente factible la adquisición de resistencia al glifosato por malezas. Como consecuencia, los investigadores han sugerido modificar ciertas prácticas agronómicas actuales, para poder seguir usando el herbicida. Algunas de estas modificaciones son reemplazar el glifosato por otros herbicidas y rotar los cultivos.

Conclusiones

La información disponible indica que los plaguicidas, incluido el glifosato, no son inocuos para el ambiente. Si bien constituyen una potente herramienta para controlar las poblaciones de organismos plaga que perjudican a los cultivos, su utilización puede afectar en forma directa e indirecta a otros organismos que crecen encima y debajo del suelo, y en los ecosistemas acuáticos.

Desde sus inicios, la agricultura ha producido grandes cambios en las formas de uso de la tierra que resultaron en la reestructuración del paisaje agrícola y de comunidades enteras de seres vivos. Es decir, las modificaciones de los ecosistemas terrestres y acuáticos comenzaron mucho antes de que la aplicación de glifosato se convirtiera en la técnica más empleada para controlar la vegetación indeseada en los cultivos. Por otra parte, este herbicida parece tener pocas probabilidades de acumularse en los suelos, en las aguas o en los tejidos vivos, con lo cual su actividad se concentra en los períodos en que se aplica en los campos.

El potencial impacto ecológico de los cambios observados por el uso del glifosato no sería tanto atribuible a la toxicidad del herbicida, ni a su acumulación en el ambiente, cuanto a su poder de reducir los componentes vegetales de los agroecosistemas, que se magnifica por la frecuencia de su uso en grandes extensiones.

Aún son necesarios estudios de larga duración, que incluyan experimentos en el campo, para evaluar críticamente no solo los factores más importantes que determinan los efectos del uso masivo del glifosato y otros pesticidas, sino también sus consecuencias en la estructura y funcionamiento de los ecosistemas acuáticos y terrestres. Solo entonces será posible dar una respuesta sobre bases sólidas acerca de los beneficios o riesgos de su uso. 

LECTURAS SUGERIDAS

BUSSE MD et al., 2001, 'Glyphosate toxicity and the effects of long-term vegetation control on soil microbial communities', *Soil Biology and Biochemistry*, 33: 1777-1789.

CASABÉ N et al., 2007, 'Ecotoxicological assessment of the effects of glyphosate and chlorpyrifos in an Argentine soya field', *Journal of Soils Sediments*, 7, 4: 232-9.

FERRARO DO & GHERSA CM, 2007, 'Exploring the natural and human-induced effects on the assemblage of soil microarthropod communities in Argentina', *European Journal of Soil Biology*, 43: 109-119.

PÉREZ GL et al., 2007, 'Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study', *Ecological Applications*, 17: 2310-2322.

PICCOLO A et al., 1994, 'Adsorption and desorption of glyphosate in some european soils', *Environmental Science Health*, 29: 1105.

VIGLIZZO E y JOBBAGY E (eds.), 2010, 'Expansión de la frontera agropecuaria en la Argentina y su impacto ecológico-ambiental', disponible (abril de 2011) en <http://www.inta.gov.ar/anguil/info/pdfs/giga/Expansi%C3%B3n%20Frontera%20Agropecuaria%202010.pdf>

Marcelo Javier WolanskyDepartamento de Química Biológica,
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, UBA

Plaguicidas y salud humana

Cultivos, plagas y plaguicidas

Este artículo discute las características y los riesgos del uso agrícola de los plaguicidas que fueron descritos en una nota anterior de este mismo número (‘¿Qué son los plaguicidas?’). Ese uso tiene aspectos comunes con su utilización residencial, y otros específicos de las tareas de producción, acopio y transporte de la materia prima de los alimentos. El presente texto no considera otras aplicaciones de esas sustancias, como el control de plagas transmisoras de enfermedades (por ejemplo, las vinchucas transmisoras del *Trypanosoma cruzi*, microorganismo responsable del mal de Chagas), o el desmalezado de caminos, parques y jardines.

Los cultivos y los centros de almacenamiento y distribución de alimentos están amenazados por plagas variadas, desde insectos voladores o caminadores, hasta malezas, roedores y hongos. En las distintas fases de su ciclo de vida, los cultivos presentan distinta susceptibilidad a las plagas. Un mismo cultivo, por ejemplo la manzana, puede requerir el uso de diferentes plaguicidas a lo largo del proceso de siembra, crecimiento de la planta, cosecha, acopio, transporte e industrialización.

Pero los evidentes beneficios del uso de plaguicidas químicos no están exentos de amenazas. En la actualidad se debate cuáles son los riesgos reales y dónde está el límite de lo que se puede considerar aceptable. La discusión se debe a: (i) la mayor conciencia pública de los riesgos de la contaminación ambiental; (ii) la globalización

de los cambios ambientales, y (iii) las nuevas actitudes culturales y la nueva legislación sobre plaguicidas. A este respecto son ilustrativos los fundamentos de la Ley de Protección de la Calidad de los Alimentos de los Estados Unidos (*Food Quality Protection Act*).

Las plagas adquieren resistencia a los plaguicidas

En un plaguicida, el compuesto que actúa contra la plaga se llama *ingrediente activo*. Los plaguicidas comerciales pueden contener uno o más de esos ingredientes, acompañados de un número variable de sustancias inactivas. Los ingredientes activos actúan de diversas maneras. Por ejemplo, muchos insecticidas afectan el sistema nervioso de los insectos plaga, lo que les impide obtener suficiente alimento o reproducirse. A veces el individuo-plaga no muere de inmediato por efecto del producto, sino por inanición. La tabla 1 muestra diversos modos de acción de plaguicidas con relación a una gran diversidad de plagas.

Si bien los plaguicidas son razonablemente eficaces, tarde o temprano aparece resistencia a ellos en las plagas. Esto se debe a que por lo común unos pocos individuos portan características genéticas que los hacen menos vulnerables al producto, sobreviven a los tratamientos y logran reproducirse. Transmiten así ese rasgo a su descendencia, mientras los individuos más susceptibles mueren

Nombre genérico	Clase	Plaga	Modo de acción	Ejemplos
Insecticidas	Organofosforados	Insectos voladores, saltadores y caminadores	Alteración de la excitabilidad del sistema nervioso	Clorpirifos Metilazinfos, Diazinon
	Carbamatos			Carbaril, Propoxfur
	Piretroides			Deltametrina β -ciflutrina
	Organoclorados			DDT* Lindano*, Endosulfan*, Dieldrin*
Herbicidas	Inhibidores de la síntesis de biomoléculas	Malezas	Inhiben la síntesis de aminoácidos esenciales para la vida vegetal Interfieren otros procesos críticos para el desarrollo completo de la planta-maleza	Glifosato Glufosinato Atrazina, Linuron 2,4-D, Dicamba
	Otras clases			Paraquat
Rodenticidas	Cumarínicos Indanedionas	Ratas, ratones y otros roedores silvestres	Inhiben la síntesis hepática de factores de coagulación sanguínea	Brodifacoum, Cumatetralilo Warfarina Clorfacinona
Fungicidas	Imidazoles Dicarboximidias Pirimidinas Piperazinas Triazoles Carbamatos Amidas de arilo	Hongos, mohos	Desorganización de estructuras o funciones celulares esenciales para la supervivencia	Metalaxil, Vinclozolina Triadimefon

Tabla 1. Principales plaguicidas, plagas que combaten y su modo de acción. Un asterisco identifica productos actualmente prohibidos o de uso restringido por ser peligrosos para las personas aun en dosis bajas.

sin dejar descendientes. Las nuevas poblaciones adquieren de esta manera una resistencia al plaguicida que impide controlarlas con eficacia y, luego de algunos años de uso continuo del producto, se precisan hasta mil veces la cantidad de este que se recomendaba aplicar cuando se lo usó por primera vez. Es decir, los ingredientes activos dejan de ser efectivos en dosis aceptables. Usar cada vez más cantidad de plaguicida en cada tratamiento no solo aumenta los costos sino también acelera la acumulación del ingrediente activo en el agua, el suelo, el aire y los alimentos, con el consecuente aumento del riesgo de exposición tóxica para la salud humana.

Hay situaciones en que las áreas tratadas son muy extensas, por ejemplo, cuando se recurre a herbicidas que eliminan toda la cobertura vegetal. Tal es el caso de la soja en la Argentina, donde la variedad cultivada tiene resistencia a ese tipo de herbicidas, adquirida por ingeniería genética. Esos cultivos pueden recibir hasta cuatro aplicaciones del desmalezante por ciclo productivo sin que sufran daño significativo. Así se extiende un doble efecto indeseado: la aparición y difusión de resistencia en la plaga, y la diseminación de cantidades crecientes del plaguicida en el ambiente. Una forma de retrasar o reducir este problema es la rotación de cultivos y de plaguicidas con distintos ingredientes activos.

La cuestión toxicológica

La mayoría de los plaguicidas no afectan exclusivamente a los organismos contra los que están dirigidos. También tienen repercusión sobre los mamíferos, incluyendo la especie humana. Es fácil entender intuitivamente que si un mosquito pesa 50mg y una persona 50kg, las dosis de plaguicida que dañarían a uno y otro son bien distintas. Pero hay aspectos del uso de plaguicidas que impiden sacar conclusiones tan sencillas como la que sugiere esta comparación.

En primer lugar, cuando hablamos de plagas no nos referimos a unos pocos mosquitos en una habitación. Por lo común tratamos de repeler o eliminar a miles de gusanos, langostas y otros insectos que amenazan la siembra o la cosecha en áreas cultivables de cientos y aun miles de hectáreas. Pero las plagas nunca se eliminan: se las controla, es decir, se reduce su número o se las repele en forma temporaria. Además, las extensiones tratadas con plaguicidas suelen estar en contacto directo o indirecto con áreas residenciales de cientos o miles de personas. Por estas razones, no hay forma de escapar para siempre de las plagas, ni de la exposición a pequeñas cantidades de plaguicidas.

En segundo lugar, los plaguicidas pueden producir efectos adversos de variada gravedad en nuestro orga-



Hoja de tilo (*Tilia cordata*) atacada por el hongo *Cercospora microsora*. Foto Beentree, Wikimedia Commons.

nismo. A partir de ciertas dosis, son tóxicos tanto para las plagas como para las personas. Decir que una dosis es segura implica mucho más que afirmar que no provocaría una intoxicación aguda letal. Los efectos de los plaguicidas en los seres humanos varían según sus modos de acción, las dosis y las características de cada individuo. Pueden tener efectos reconocibles de inmediato o manifestarse con retardos de meses o años. Pueden ocurrir efectos reversibles, persistentes o permanentes.

Luego de una exposición aguda o acumulativa a plaguicidas pueden ocurrir efectos leves y pasajeros, como sarpullido o adormecimiento de los dedos; moderados, como crisis más frecuentes en los asmáticos; o graves, como convulsiones. Entre las consecuencias irreversibles más serias se cuentan malformaciones congénitas luego de exposición repetida durante períodos sensibles de la gestación, trastornos glandulares y cáncer. El rango de dosis capaz de producir efectos adversos de variada severidad es muy extenso, pero como regla general se cumple que a mayor dosis, mayor daño. Por ejemplo, en ratas, dosis de insecticidas piretroides hasta veinte veces menores que las que producen toxicidad severa bastan para causar alteraciones del movimiento.

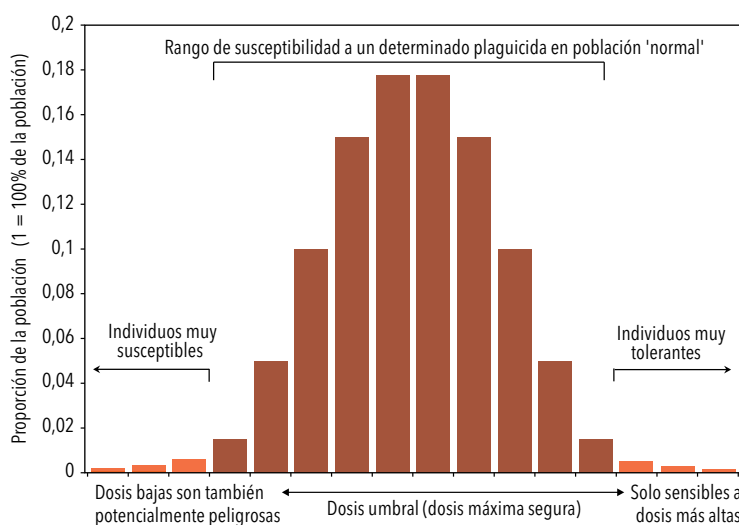
En función de lo que se observa en estudios de animales de laboratorio, es razonable suponer que si las personas se exponen repetidamente a pequeñas cantidades de plaguicidas a lo largo de sus vidas, dejan de tener riesgo nulo de sufrir efectos adversos. Idealmente, se debería evitar todo daño previsible a la salud por el uso de plaguicidas. Cuidarnos de sufrir consecuencias leves y reversibles es la mejor manera de evitar daños graves e irreversibles. Pero en el mundo real las cosas son algo más complejas, porque los plaguicidas traen beneficios (por ejemplo, aseguran que haya suficiente cantidad de alimentos), de modo que la regla debería ser solo aceptar riesgos que sean claramente y en forma verificable menores que esos beneficios.

En tercer lugar, los compuestos plaguicidas sufren transformaciones dentro y fuera de los organismos vi-

vos, por las que, luego de cada aplicación, quedan residuos (con distintas estructuras químicas) que también pueden ser tóxicos. Además, los plaguicidas pueden contener uno o más ingredientes mal llamados inactivos, que modulan la actividad del ingrediente activo. Por ejemplo, la mayoría de los herbicidas actúan sobre sitios o procesos de las células vegetales que no existen en los animales, pero los productos de transformación y los componentes inactivos pueden resultar tóxicos para estos, en especial los mamíferos. Esto podría suceder con herbicidas como el glifosato, aunque aún no hay evidencia científica y epidemiológica concluyente al respecto. Algunos insecticidas incluyen inhibidores de enzimas que degradan los ingredientes activos, para potenciar el efecto del plaguicida. Esas enzimas son mecanismos de defensa eficaces en los humanos, por lo que esos ingredientes adicionales también pueden potenciar la toxicidad para las personas.

Nuestra percepción de los riesgos y beneficios de los plaguicidas a menudo está deformada por falta de buena información, con el resultado de que tomamos actitudes negligentes. Los agricultores a veces aplican más plaguicida que el recomendado 'por si acaso'. La conducta de la gente con los plaguicidas se basa en su educación, hábitos, emociones, experiencia, influencia de los medios de información y de la publicidad, y factores socioculturales.

Pero si toda la población mundial, tarde o temprano, queda expuesta en forma activa o pasiva y de manera reincidente a plaguicidas, y si todos somos vulnerables a ellos, ¿por qué los casos graves de intoxicaciones son la excepción más que la regla? Por tres razones que examinaremos sucesivamente: la variabilidad biológica del organismo, las medidas de prevención y las actitudes precautorias.



Representación de la variabilidad biológica teórica de una población: distribución de sus miembros según las dosis umbral de plaguicida que afecta su salud.

Variabilidad biológica y vulnerabilidad a plaguicidas

Así como existe variabilidad genética, también existe una amplia variabilidad de respuesta a sustancias tóxicas entre los individuos de una misma especie, como el ser humano. Las diferencias en los órganos y tejidos de los seres humanos, lo mismo que en los de las plagas, hacen que una misma cantidad de plaguicida ocasione distintos niveles de daño en cada individuo. Por ello, la dosis por encima de la cual un individuo manifiesta signos de intoxicación —o *dosis umbral*— es variable de uno a otro. Si pudiéramos agrupar a los individuos de una población suficientemente numerosa de acuerdo con la dosis umbral que presenta cada uno para un determinado plaguicida, posiblemente podríamos trazar un gráfico como el que muestra la figura. Pero dado que no hay forma práctica de realizar estudios de laboratorio o epidemiológicos que comprueben lo anterior, y que para cada plaguicida la mayoría de la población tiene dosis umbral dentro de un rango conocido, se dice que esa mayoría responde en forma ‘normal’ o ‘según lo esperado’. Sin embargo, existen dos grupos minoritarios, aunque significativos desde un punto de vista epidemiológico: los individuos *tolerantes*, para quienes solo dosis altas resultan tóxicas, y los *susceptibles*, que manifiestan alteraciones aun cuando son expuestos a dosis bajas.

Además, la variación biológica se expande aun más si consideramos que la población normal, en realidad, es una entidad definida estadísticamente. En la Argentina, hasta el 35% de la población padece de alguna de las siguientes condiciones: diabetes, obesidad, síndrome metabólico, insuficiencia hepática, cardiopatía, insuficiencia renal, desnutrición o consumo de drogas terapéuticas o recreativas. Esas alteraciones del bienestar ideal pueden afectar, en mayor o menor grado, la dosis umbral de un plaguicida. ¿En qué parte de la figura quedarían ubicados esos casos? No sabemos con exactitud, aunque teóricamente ocupan los extremos de la distribución.

La variabilidad biológica explica tanto la existencia de individuos tolerantes como la incidencia relativamente baja de intoxicaciones graves por plaguicidas. Pero la misma heterogeneidad biológica entre individuos y el amplio rango de dosis que puede producir algún efecto sugiere que debería haber más casos de toxicidad leve a moderada que los registrados. Posiblemente haya muchos casos de intoxicación invisible que se confunden con síntomas clínicos frecuentes, como dolor de cabeza, mareos o debilidad muscular, aunque no lo sabemos a ciencia cierta.

Medidas de prevención

Para asegurar que las aplicaciones de plaguicidas no tengan efectos tóxicos en la gente, se han sancionado



Una mariposa de isoca de la alfalfa (*Colias lesbia*) posada sobre una maleza común en Sudamérica (*Eupatorium inulifolium*). El insecto es inofensivo en su estado de mariposa, que muestra la foto, pero sumamente dañino en su estado anterior de larva, cuando se alimenta del follaje y puede aparecer en grandes números en cultivos. Una invasión de isoca puede destruir por completo un alfalfar o un campo de soja y dejar solo los tallos sin hojas. Foto Silvia Sokolovsky

normas y establecido procedimientos que los fabricantes de esos productos deben respetar para poner en el mercado nuevos ingredientes activos o promover nuevas aplicaciones de productos autorizados. Las entidades legalmente competentes deben evaluar si es aceptable el riesgo que resulta del almacenamiento de un plaguicida en centros de distribución, de la manipulación del envase por el usuario final, de los procedimientos recomendados para cada aplicación, y de la distancia entre el área a tratar y las zonas residenciales, entre otras cuestiones. En la Argentina, varios organismos nacionales controlan el uso de plaguicidas desde su fabricación hasta el descarte de sus sobrantes (tabla 2).

Esa multiplicidad de organismos sugiere lo complejo que es realizar un control efectivo de los efectos adversos de los plaguicidas, desde su elaboración a su uso, incluyendo situaciones tan diversas como la manufactura de ingredientes activos, el transporte y la aplicación en ámbitos muy diversos, como la desinsectización de gallineros y tambos o el tratamiento de campos cultivados con aviones fumigadores.

Las empresas deben presentar documentación con los resultados de estudios toxicológicos, y solo cuando sus resultados permiten estimar una dosis segura, y además cuando esa dosis es claramente mayor que la resultante de la aplicación del plaguicida realizada en la forma autorizada, se aprueba el uso de un nuevo ingrediente activo y la venta de los productos comerciales que lo contienen.

Adviértase que no solo se autoriza un producto químico sino también su aplicación, la que, en última

Organismo	Área de competencia	Sitio de consulta
Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica	Inocuidad de los residuos de plaguicidas en los alimentos	www.anmat.gov.ar
Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria	Calidad de la materia prima de los alimentos	www.senasa.gov.ar
Instituto Nacional del Agua	Calidad de las fuentes de agua	http://www.ina.gov.ar
Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria	Uso racional del suelo, los ganados y los productos agroquímicos	http://www.inta.gov.ar
Ministerio de Salud de la Nación	Acciones preventivas, paliativas o terapéuticas contra las intoxicaciones humanas con plaguicidas	http://www.msal.gov.ar
Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Agencia de Protección Ambiental de la ciudad de Buenos Aires	Protección de la salud ambiental y los ecosistemas	http://www.ambiente.gov.ar y http://www.buenosaires.gov.ar/areas/med_ambiente/apra/
Administración Nacional de Aduanas	Ingreso de productos peligrosos o prohibidos por las fronteras	http://www.afip.gov.ar

Tabla 2. Instituciones argentinas que controlan la seguridad de los plaguicidas.

instancia, acarreará las consecuencias ambientales que pueden afectar la salud humana. Así, si un fungicida se autoriza para frutillares, no puede usarse en otro cultivo hasta que la nueva propuesta de uso haya sido evaluada y autorizada. Cada aplicación tiene procedimientos específicos, porque la plaga y la frecuencia de tratamiento pueden diferir, lo mismo que la concentración requerida del ingrediente activo, y ello modifica la formación, acumulación y distribución de residuos ambientales, lo mismo que el riesgo para la salud humana.

Las autoridades pueden permitir o negar el uso de un nuevo producto, solicitar información técnica adicional o autorizar solo determinadas formas de aplicarlo. No todo lo aprobado en determinados países es autorizado en otros. El fabricante debe demostrar que en todos los casos, en la dosis indicada, el producto será efectivo para el uso previsto, y que sus residuos no pondrán en riesgo la salud humana ni el equilibrio de los ecosistemas. Para poder hacerlo, debe haber estudiado los efectos inmediatos (dentro de 24 horas) de una exposición única y los efectos de exposiciones repetidas a lo largo de meses o años. Eso se hace experimentando con animales que tengan cierta similitud anatómica y fisiológica con los humanos, principalmente ratas, ratones y perros.

El riesgo de sufrir daños por contacto con plaguicidas depende tanto de la toxicidad de la sustancia como del nivel de exposición a ella. La peligrosidad del ingrediente activo se puede expresar de diversas formas, que dependen de exactamente qué se procura estimar, como lo explica la sección *Toxicidad* del artículo '¿Qué son los plaguicidas?' publicado en este mismo número.

También se debe estimar cómo se degrada un plaguicida y cuánto llega a acumularse en diversos sitios del ambiente. Para que se autorice una sustancia, se debe obtener información confiable sobre ambas cuestiones.

Esos estudios ecotoxicológicos permiten determinar si el producto es peligroso para especies animales y vegetales no consideradas plagas (por ejemplo, las abejas productoras de miel).

De lo dicho se desprende que la expresión *dosis segura* no se define como un límite preciso y fijo, aplicable a cualquier situación e individuo, sino como un nivel de exposición de referencia que siempre incluye un margen de incertidumbre que debemos tener en cuenta. Una dosis máxima segura no protege con la misma seguridad a todos. Para estimar una dosis segura y la incertidumbre asociada se hacen pruebas con animales, en las cuales se estima la diferente respuesta biológica de, por ejemplo, roedores y



Un cultivo atacado por tucura (*Dichropolus sp.*), insectos de unos 3cm con alas en forma de abanico y fuertes patas con las que dan saltos. Nacen en la primavera y pueden formar mangas que atacan los cultivos de verano. Mueren con los fríos del otoño, después de desovar y así permitir la repetición del ciclo en la primavera siguiente. Foto Picasa



Fumigación terrestre de un cultivo. Foto Mississippi State University Extension Service

humanos, y las variación de sensibilidad esperable entre individuos de la misma especie. Estas dos fuentes de variabilidad explican la mayor parte de la incertidumbre.

Cuando no se pudo identificar en estudios de animales la dosis máxima segura se utiliza la menor dosis con efecto detectable y se le agrega factores de seguridad adicionales. Si bien el procedimiento regulatorio es bastante más complejo, puede ilustrar al lector indicar que si para un determinado plaguicida se fijó un factor de seguridad de 100 y si la dosis máxima que no produce intoxicación perceptible en una rata es 1mg por cada kilo de su peso, se autorizarán solo aquellas aplicaciones del plaguicida que, como máximo, expongan a las personas a dosis 100 veces menores (0,01mg/kg).

Actitud precautoria

Nuestra actitud afecta la probabilidad de ser víctima de intoxicación por plaguicidas. Podemos optar por plaguicidas de menor toxicidad, o aplicar varios en forma simultánea, para reducir la exposición a cada uno. No es lo mismo fumigar desde aviones que desde vehículos terrestres, pues la proporción de residuos en el área sembrada, a la que se apunta, y en sus alrededores, variará. Temperatura, humedad, vientos y lluvias modificarán la velocidad de dispersión y degradación del plaguicida luego de cada tratamiento. Hay instrucciones rigurosas que indican cómo, cuándo, dónde y con qué intensidad se debe aplicar cada plaguicida en cada cultivo y geografía. Como el riesgo está en relación directa con la exposición, cuanto más se eviten exposiciones innecesarias, menos probable será sufrir trastornos.

Los productos plaguicidas deben ser seleccionados, transportados, almacenados, utilizados y descartados en

forma racional, siguiendo las condiciones de manejo seguro autorizadas por los entes regulatorios municipales, provinciales y nacionales. Son frecuentes, sin embargo, las actitudes negligentes, como falta de vestimenta de protección. Algunos plaguicidas pueden contaminar y tener efectos acumulativos de diversa gravedad con exposiciones muy bajas. En consecuencia todos, autoridades y particulares, deben estar alerta para ir comprobando que los beneficios y los riesgos se mantengan en los órdenes estimados en el momento de la aprobación.

Si se postula que los plaguicidas modernos son compatibles con un crecimiento agroindustrial sostenible y con el equilibrio ecológico, ¿qué impide prevenir las intoxicaciones no accidentales? La falta de datos toxicológicos relevantes parece constituir el principal obstáculo a sortear en las próximas décadas para alcanzar el ideal del uso seguro de plaguicidas. Sin datos toxicológicos completos obtenidos por experimentos rigurosos con animales y estudios epidemiológicos válidos es imposible predecir daños potenciales en humanos. Si bien en la segunda mitad del siglo XX hubo un desarrollo explosivo y un refinamiento constante de productos plaguicidas sintéticos, una parte importante de estos aun tiene baja capacidad de restringir su efecto a la plaga para la cual fue creada, y afecta a mecanismos moleculares y celulares que carecen de diferencias relevantes en las plagas y los humanos.

Existe una cantidad de preguntas importantes que todavía no tienen respuestas, o tienen algunas muy preliminares. Por ejemplo, ¿cambia el riesgo si nos exponemos primero al insecticida A y luego al B en vez de hacerlo en orden inverso? ¿A igual exposición, corren el mismo riesgo los diabéticos que los no diabéticos? ¿Es más grave acumular exposiciones bajas durante años o sufrir una intoxicación aguda por un único episodio de

contaminación? Lo que ignoramos hace imposible establecer con seguridad que no estemos ante a un problema de salud pública mayor a lo sospechado hasta el presente.

Aprovechamiento racional y sostenible de los plaguicidas

Siglos atrás, morir o sobrevivir eran opciones más frecuentes para la mayoría de la población mundial. Eran tiempos en que se usaban plaguicidas naturales de baja eficacia o compuestos de alta peligrosidad, como sales arsenicales y mercuriales, más tarde prohibidas por su alta peligrosidad. Esa situación fue cambiando, de suerte que, promediando el siglo XX, los gobiernos crearon marcos regulatorios y empezaron a proteger en forma sistemática a la población de trastornos no letales, como malformaciones congénitas o tumores originados por exposición a compuestos químicos tóxicos.

Solo en las últimas tres o cuatro décadas se hicieron más estrictas las normas sobre autorización de productos tóxicos, y más recientemente se empezó a requerir que las agencias gubernamentales y la industria presenten evidencias sobre las consecuencias de exponerse simultáneamente a más de una sustancia. Hoy se intenta prevenir la toxicidad acumulativa aplicando nuevos procedimientos de evaluación experimental con animales. La pregunta más relevante a responder es si los episodios individuales de exposición cotidiana, que separadamente no producen síntomas inmediatos de intoxicación, pueden llegar a producir daños a nuestra salud cuando ocurren en forma simultánea.

Muchos productos fueron autorizados antes de que llegara el actual uso masivo de plaguicidas. Hoy existe cultivo de soja hasta en zonas históricamente desfavorables, como el noroeste argentino. La mayoría de los experimentos pasados con animales han estudiado dosis altas de plaguicidas individuales en condiciones controladas de laboratorio. ¿Es esa la situación de la mayoría

de la población humana, que se expone diariamente a mezclas variables de dosis bajas de plaguicidas y muchos otros productos químicos (por ejemplo, medicamentos y cosméticos)? ¿Existe en los servicios de salud suficiente capacidad de detección de intoxicaciones leves con plaguicidas?

Lo afirmado hasta aquí se basa en lo que sabemos. Si bien existe acuerdo sobre la inocuidad de las aplicaciones de plaguicidas evaluadas individualmente —si se respetan estrictamente los procedimientos aprobados en el momento de su autorización oficial—, evidencias recientes sugieren que la acumulación de aplicaciones inocuas puede producir trastornos funcionales que aún no sabemos cómo reconocer. Y no se puede reducir el riesgo de sufrir un peligro que no sabemos cómo detectar.

Por eso, los organismos de control deben poner el mismo esfuerzo que pusieron en asegurarse de la seguridad de las aplicaciones antes de autorizarlas, en verificar qué sucede después de esa autorización. Es decir, es necesario que controlen en forma sistemática tanto el cumplimiento de las normas de uso y la contaminación ambiental, como los efectos agudos y crónicos que se puedan registrar en ámbitos hospitalarios.

En la mayoría de los países, incluida la Argentina, las entidades públicas y privadas han hecho un seguimiento insuficiente del uso de pesticidas. En medios científicos no hay consenso sobre qué tipo y cantidad de información habría que generar antes y después de la aprobación de plaguicidas para prevenir las intoxicaciones leves, que son las más difíciles de detectar, lo mismo que para realizar un diagnóstico temprano de trastornos agudos y crónicos. Sin esfuerzos que evalúen la eficacia de los sistemas de prevención de toxicidad por plaguicidas, las políticas regulatorias de protección de la comunidad seguirán padeciendo la carencia de información toxicológica y epidemiológica relevante. Hasta que existan más certezas sobre las consecuencias de la exposición cotidiana a múltiples plaguicidas, una actitud precautoria parece ser la mejor herramienta para protegernos adecuadamente de los riesgos químicos del mundo actual. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

ALTAMIRANO JA et al., 2004, 'Modelo epidemiológico para el diagnóstico de intoxicaciones agudas por plaguicidas', *Revista de Toxicología*, 21, 2-3: 98-102.

MINISTERIO DE SALUD DE LA NACIÓN, 2010, 'Programa nacional de prevención y control de intoxicaciones por plaguicidas', *Boletín Oficial*, 16/02, Buenos Aires.

NEBEL BJ y WRIGHT RT, 1999, 'El control de plagas. Promesas y problemas de los métodos químicos', en *Ciencias ambientales: ecología y desarrollo sostenible*, Prentice Hall, México.

INTERNET

<http://www.msps.es/ciudadanos/saludAmbLaboral/docs/plaguicidas.pdf>

<http://www.fao.org/agriculture/crops/core-themes/theme/pests/ipm/more-ipm/en/>

<http://www.fao.org/Noticias/1998/ipm-s.htm>

<http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/new.consultaPublicacion.php>

http://www.who.int/occupational_health/publications/en/pwh1sp.pdf

Cultivo de soja en Necochea.
Foto Beatrice Murch, *Flickr.com*.



Roberto Álvarez, Gonzalo Berhongaray, Josefina De Paepe, María Rosa Mendoza, Haydée Steinbach, Constanza Caride, Rodolfo Cantet y Carina Álvarez

Facultad de Agronomía, UBA

Sojización y productividad de los suelos pampeanos

El campo argentino, un escenario de fuertes cambios productivos

La producción agropecuaria argentina ha sido escenario de grandes y continuas transformaciones en las últimas décadas. La tradicional 'rotación agrícola-ganadera' que se utilizaba hasta la década del 60, que alternaba un período agrícola con cultivos de granos y otro de pasturas para alimentación del ganado, se reemplazó progresivamente por planteos de agricultura continua (figura 1). Durante el período de pastura se buscaba recuperar la fertilidad del suelo perdida en la fase agrícola, logrando pequeños aumentos de los contenidos de materia orgánica y nutrientes. Paralelamente al avance de la agricultura, a mediados de la década del 70 irrumpe en escena el cultivo de soja, que se difundió exponencialmente a partir de entonces y generó el fenómeno conocido como *sojización* (figura 2A).

El avance de la soja se debió a numerosos factores como bajos costos de producción, precios favorables, gran adaptabilidad del cultivo a distintas condiciones ambientales, baja necesidad de fertilizantes, adopción de la siembra directa de los cultivos sin necesidad de labrar el suelo previamente y posibilidad de hacer dos cultivos por año en lugar de solo uno cultivando la secuencia trigo-

soja, en la cual el trigo se cultiva en invierno y la soja inmediatamente a continuación de la cosecha del trigo, en verano. Otro elemento clave que contribuyó al avance del cultivo de soja fue la introducción de cultivares transgénicos con resistencia a herbicidas de acción total (glifosato). A nivel de toda la región pampeana el proceso de *sojización* no produjo una reducción importante de la superficie destinada a los cultivos tradicionales como trigo, maíz y girasol, sino que generó el reemplazo en las rotaciones de las pasturas por agricultura con soja y la expansión de la frontera agrícola hacia regiones anteriormente no cultivadas.

El suelo, un recurso natural esencial para la producción

El suelo es uno de los recursos naturales esenciales para la producción de alimentos. En él crecen las raíces de las plantas que absorben agua, oxígeno y nutrientes como nitrógeno, fósforo y azufre, todos necesarios para el crecimiento de un cultivo (figura 3). La fracción sólida del suelo está formada principalmente por partículas minerales de distinto tamaño y por materia orgánica, generada a partir de restos de vegetales y animales en

Antes de 1960

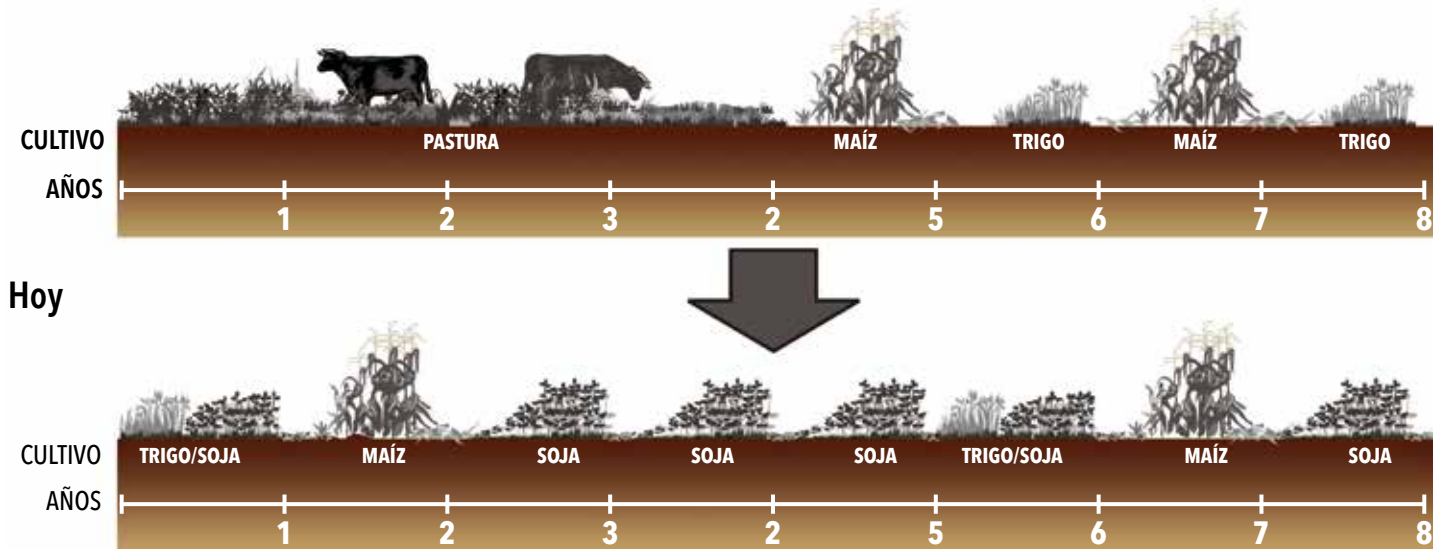


Figura 1. Ejemplo de rotaciones dominantes en la pampa ondulada (norte de Buenos Aires, sur de Santa Fe, sudeste de Córdoba) antes de 1960 y en la actualidad. Antes de 1960 se alternaba un período de producción ganadera sobre pasturas con un período de agricultura con producción de cultivos de granos. En la actualidad hay una tendencia a realizar solo cultivos agrícolas y es la soja el cultivo que ocupa mayor proporción de la rotación. Este fenómeno se ha denominado *sojización*.

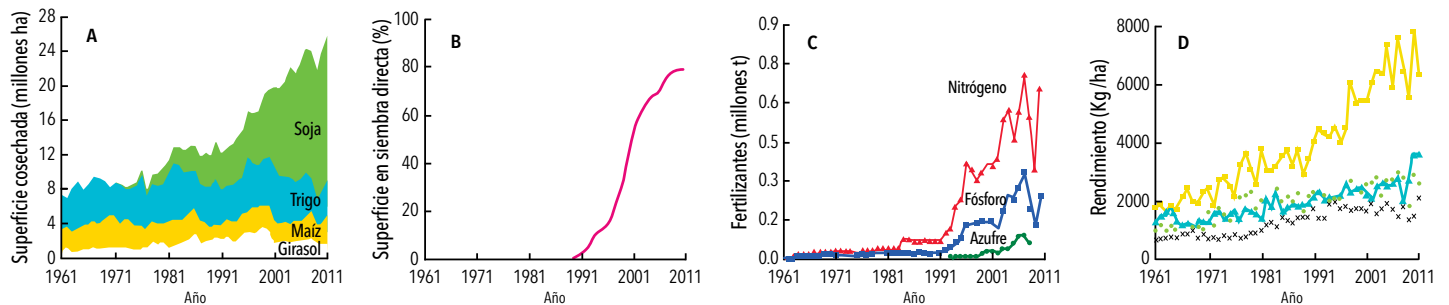


Figura 2. A. Evolución de la superficie cosechada de los principales cultivos en la región pampeana. B. Evolución porcentual de la superficie de cultivos manejados en siembra directa en la región. C. Evolución del consumo de nitrógeno, fósforo y azufre de fertilizantes en la Argentina. D. Evolución de los rendimientos de los principales cultivos de la región pampeana entre 1969 y 2011. Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación, AAPRESID y Fertilizar Asociación Civil.

descomposición. Estos materiales se organizan en agregados o terrones, dejando espacios entre ellos, llamados poros. Los poros más pequeños permiten retener agua y en los más grandes crecen las raíces y circula el oxígeno necesario para la respiración de las raíces. El volumen del suelo se reparte aproximadamente en partes iguales de sólidos y poros. La materia orgánica tiene una gran influencia sobre la calidad de los suelos ya que mejora la formación de agregados y poros, es fuente de nutrientes para las plantas y de energía para los microorganismos, favoreciendo los procesos de reciclaje de materia y energía.

El esquema de producción tradicional pampeano, ampliamente difundido años atrás, se caracterizaba por el uso del sistema de labranza convencional durante la fase agrícola de la rotación. En ella se preparaba el suelo para la siembra del cultivo mediante la utilización del arado que enterraba los residuos del cultivo anterior. Esta

forma de preparación del suelo requiere una gran cantidad de energía en forma de combustible para operar la maquinaria y deja el suelo descubierto, sin protección contra la acción erosiva de la lluvia o el viento (figura 4). Comenzaron entonces a manifestarse síntomas de erosión hídrica y eólica, y ello condujo, en una primera etapa, a la adopción de sistemas de labranza conservacionista, con máquinas menos agresivas que el arado que dejaban el suelo parcialmente cubierto por residuos del cultivo anterior. También estos sistemas implicaban una menor necesidad de maquinaria y combustible.

Durante la década del 90 la disminución del precio del herbicida glifosato y los avances tecnológicos en las máquinas sembradoras dieron comienzo a un proceso de crecimiento sostenido de la superficie manejada en siembra directa en la Argentina (figura 2B). En este sistema, la siembra del cultivo se realiza directamente sobre los residuos del cultivo antecesor, sin ningún tipo de

movimiento del suelo, lo que reduce el riesgo de erosión (figura 4). La adopción de la siembra directa fue acompañada por el aumento en el uso de fertilizantes, en especial nitrogenados, fosforados y azufrados, principalmente para el trigo y el maíz (figura 2C).

¿Cómo cambiaron las propiedades del suelo con la agricultura?

Cuando un ecosistema natural es cultivado experimenta cambios en los suelos que afectan su productividad. Estos cambios son generalmente negativos (degradan el suelo) y los principales que se observan en la región pampeana son la disminución de la materia orgánica, la pérdida de nutrientes, la erosión y la compactación.

Como mencionamos, la materia orgánica es un elemento esencial del suelo. Se compone de carbono en el 56-58% y en menor proporción por nitrógeno, fósforo y azufre, entre otros. La materia orgánica influye sobre numerosas propiedades químicas, físicas y biológicas del suelo que afectan su capacidad para albergar cultivos, actuando principalmente como proveedora de nutrientes para las plantas. En la región pampeana se ha encontrado una estrecha relación entre la productividad de trigo y el contenido de contenido de materia orgánica del suelo en el que se cultivó.

Recientemente se ha evaluado el efecto de la agricultura sobre la cantidad de materia orgánica de los suelos pampeanos. Mediante la comparación de suelos apareados, cultivados y sin cultivar, en establecimientos productivos distribuidos en toda la región pampeana, se observó que los suelos cultivados presentan alrededor de 14% menos de materia orgánica (ver tabla). Esta disminución se produjo a lo largo de entre 60 y 140 años, lo que revela un efecto negativo de la agricultura sobre las



Figura 4. Izquierda: suelo desnudo preparado para la siembra con uso de arado. Derecha: siembra de soja en un sistema de siembra directa sobre suelo cubierto por residuos del trigo anterior.



Figura 3. Esquema del suelo y sus funciones, que muestra la disposición de los poros entre y dentro de los agregados o terrones. También se indica la composición aproximada de un suelo pampeano en sus fases sólida, líquida y gaseosa. La materia orgánica se constituye a partir de restos vegetales y animales transformados y los minerales se presentan como arena, arcilla o limo, según el tamaño de partícula.

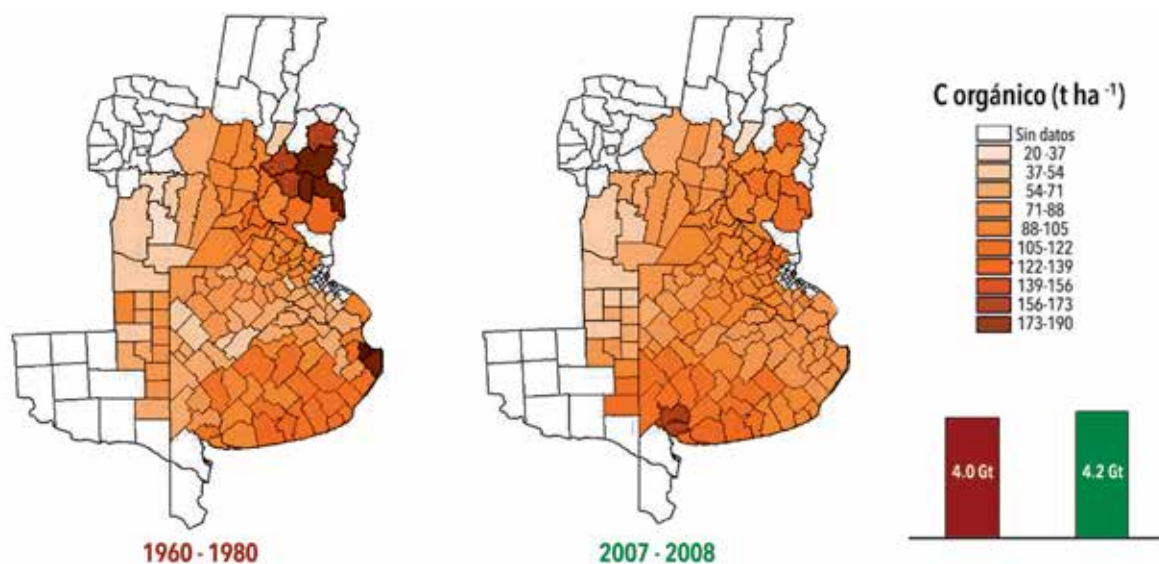


Figura 5. Stock de carbono en la materia orgánica en suelos pampeanos hasta 1 m de profundidad estimado para 1960-1980 y en 2007-2008. Las barras indican la cantidad de carbono en el suelo hasta el metro de profundidad en toda la región para ambos períodos. Fuente: redibujado de Álvarez, Berhongaray *et al.*, 2012.

reservas de materia orgánica de los suelos pampeanos. Sin embargo, si se comparan los contenidos de carbono de los suelos entre 1960 y 1980 (época en que fueron evaluados por el INTA) y la actualidad, no se detectan cambios importantes a nivel regional, aunque sí se advierten variaciones zonales importantes (figura 5). Esto sugiere que el total de materia orgánica de los suelos pampeanos no ha variado significativamente en las últimas décadas, lo cual sugiere que las pérdidas debieron ocurrir en períodos anteriores al avance de la agricultura continua y la expansión de la soja.

La agricultura extrae nutrientes del suelo en los productos cosechados que son transportados hacia las ciudades. No solo nitrógeno o fósforo, sino también cationes como calcio, potasio y magnesio, produciendo la acidificación del suelo (disminución de su pH). Suelos con un pH por debajo de 5,5 presentan problemas para el crecimiento de la mayor parte de los cultivos. En el

relevamiento realizado en la región pampeana antes descrito no se han detectado problemas de acidificación generalizados ni se han detectado diferencias entre sitios cultivados y no cultivados (ver tabla), de modo que la acidificación no parece ser un problema que haya afectado la productividad pampeana hasta el presente.

Otro proceso de degradación observado en la región, ligado al laboreo continuo del suelo y a la ausencia de cobertura vegetal o de residuos, es la erosión. En el este de la región pampeana predomina la erosión producida por las lluvias y en el oeste, la generada por el viento. La erosión reduce o elimina la capa superficial del suelo en la que se encuentra la mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes. La subregión conocida como pampa ondulada (norte de la provincia de Buenos Aires, sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba) es la más afectada por este proceso. Estudios recientes mostraron una disminución de unos 4cm en la capa superficial de los suelos de esta subregión. Esta pérdida de suelo, en la medida en que el proceso erosivo no se detenga, representa una disminución potencial de la productividad en el largo plazo debido a que conlleva la pérdida de materia orgánica y nutrientes. Como consecuencia de los procesos de erosión, pérdida de materia orgánica y salida de nutrientes por cosecha, se ha producido una disminución en la fertilidad o disponibilidad de nutrientes como nitrógeno y fósforo en los suelos (ver tabla).

El suelo debe ser un ambiente favorable para el desarrollo y la exploración por parte de las raíces. La compactación disminuye el volumen de los poros más grandes del suelo por donde crecen las raíces, con lo cual reduce el volumen de suelo explorado por ellas y, consecuentemente, la absorción de agua y nutrientes. La caída en el contenido de materia orgánica del suelo, el

Propiedades de los suelos pampeanos en situaciones no cultivadas y cultivadas en la capa superficial (0-25cm)

Propiedad del suelo	No cultivado	Cultivado	Variación (%)
Materia orgánica (t/ha)	84	72	-14
pH (acidez)	6,2	6,4	no significativa estadísticamente
Densidad aparente (t/m ³)	1,1	1,2	+10
Nitrógeno total (t/ha)	5,9	5,1	-14
Fósforo disponible (kg/ha)	170	59	-65

Fuente: Álvarez, Berhongaray *et al.*, 2012.

tránsito de maquinaria y las labranzas continuas son causantes de la compactación. Esta puede medirse mediante la determinación de la densidad aparente del suelo, que consiste en la relación entre su masa y el volumen ocupado. En los planteos agrícolas de la región pampeana se han encontrado aumentos de la densidad aparente que rondan en promedio el 10% respecto de suelos no cultivados (ver tabla), si bien los valores hallados no alcanzan los valores críticos que pueden afectar el crecimiento de las raíces (entre 1,5 y 1,8t m⁻³ según el suelo).

La adopción de siembra directa descrita antes revirtió parcialmente algunos de los cambios negativos generados por la agricultura. Este sistema permitió un aumento promedio de 6% del nivel de materia orgánica en la capa superficial en suelos de la región. Sin embargo, no resulta suficiente para controlar la erosión cuando las pendientes del terreno son pronunciadas o predominan cultivos que dejan el suelo poco cubierto por residuos, como ocurre con la soja. Como contrapartida, se observa un leve incremento de la densidad aparente (3%) bajo este sistema de labranza, aunque no suele alcanzar valores críticos. Algunos interrogantes que resta contestar se vinculan al impacto de este sistema sobre la acumulación

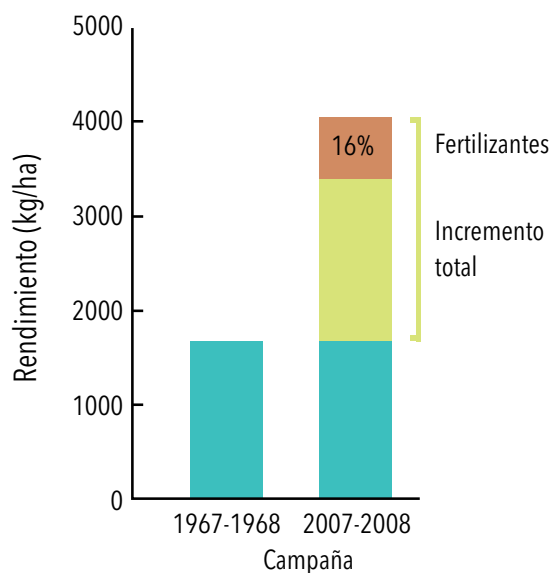


Figura 6. Rendimiento promedio de grano de la región pampeana (trigo, maíz, soja y girasol) para dos campañas agrícolas, 1967-1968, en la que casi no se utilizaban fertilizantes, y 2007-2008, con alto uso de fertilizantes. La franja azul indica la proporción del aumento de rendimiento atribuible al uso de fertilizantes entre esas dos campañas. Fuente: Álvarez *et al.*, 2013.

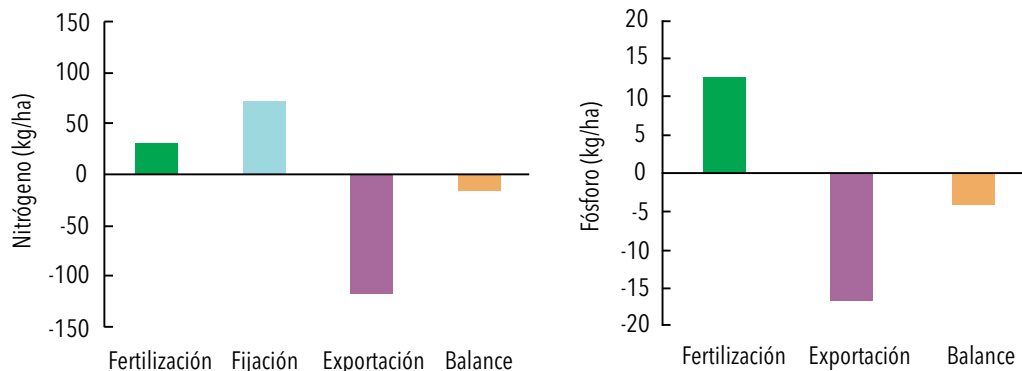


Figura 7. Balance promedio de nitrógeno y fósforo para los suelos cultivados de la región pampeana en la campaña 2007-2008. Fuente: Álvarez *et al.*, 2013.

de agroquímicos en suelo y las masas de agua y la biodiversidad.

¿Cómo evolucionaron los rendimientos de los cultivos?

En los apartados anteriores se describieron los cambios de manejo y su impacto sobre algunas propiedades importantes de los suelos relacionadas a la productividad. Podemos preguntarnos ahora si el rendimiento de los cultivos reflejó los cambios en las propiedades de los suelos. La respuesta es no. Los rendimientos aumentaron y el maíz presentó los aumentos más importantes (figura 2D).

Los factores que contribuyeron a estos aumentos, y que no se relacionan con el suelo, son numerosos: mejora genética, ajustes en la fecha de siembra, mejor control de malezas, enfermedades y plagas, etcétera. Un factor que sí se relaciona con el suelo y el aporte de nutrientes, y que también contribuyó a este aumento, fue el incremento en el uso de fertilizantes, principalmente de nitrógeno, fósforo y azufre. Este aporte de nutrientes permitió aumentar los rendimientos, especialmente de cereales como trigo y maíz. Entre la campaña agrícola 1967-1968 y la campaña 2007-2008 el rendimiento medio de grano de la región pampeana se duplicó. Se estima que el 16% de ese aumento se debe a la fertilización (figura 6).

Por el contrario, el cambio de la modalidad de labranza (de convencional a siembra directa) no parece haber afectado los rendimientos. Los resultados de numerosos experimentos realizados en la región pampeana, principalmente en la porción más húmeda, muestran que los principales cultivos tienen rendimientos semejantes en sistemas manejados con uno u otro tipo de labranza, en la medida en que el suministro de nitrógeno por fertilización sea adecuado. Sin embargo, resulta aventurado generalizar estos resultados a la porción semiárida de la región, donde no está claro qué papel puede jugar el sistema de labranza sobre la producción.

Balance de nitrógeno

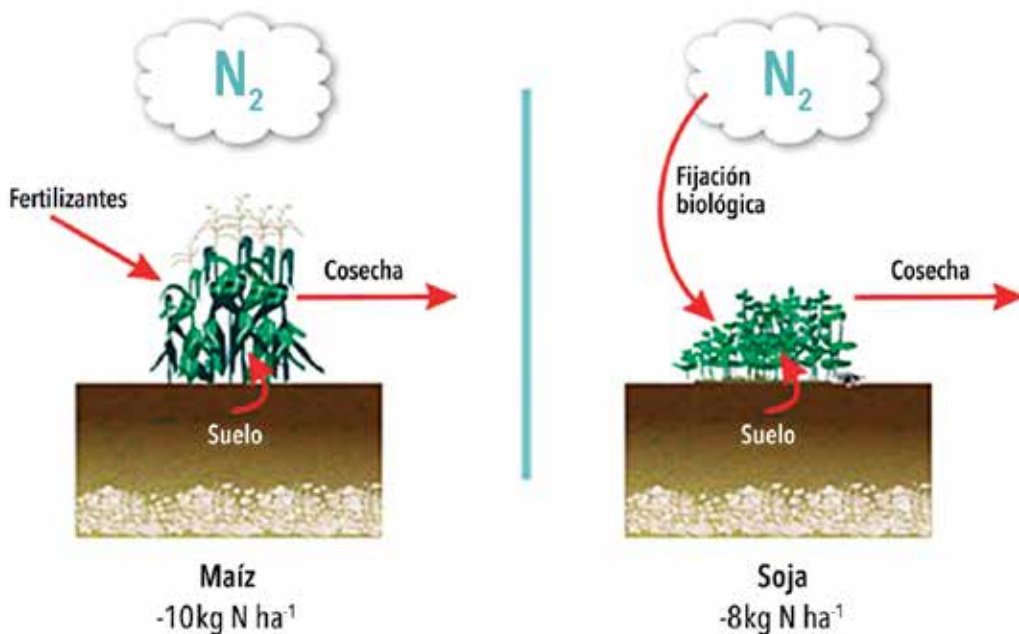


Figura 8. Balance de nitrógeno de maíz o soja en la región pampeana. Fuente: Álvarez, Berhongaray *et al.*, 2012.

¿Cómo podrían cambiar las propiedades de los suelos en el futuro?

Las pérdidas de nutrientes que han experimentado históricamente los suelos pampeanos continúan en los

sistemas productivos contemporáneos. Estas pérdidas se producen mediante cosechas cada vez más voluminosas con respecto a los nutrientes que ingresan al suelo. En la actualidad existe un flujo de entrada importante de nutrientes como nitrógeno y fósforo en los ecosistemas cultivados por fertilización y de nitrógeno mediante la fijación biológica que realiza la soja. Esta especie pertenece a la familia de las leguminosas que mediante una asociación con una bacteria que se aloja en sus raíces es capaz de aprovechar el nitrógeno del aire, una fuente inagotable.

A pesar de esto, los balances regionales de nitrógeno y fósforo, que resultan de la diferencia entre entradas y salidas de nutrientes, siguen siendo negativos (figura 7). También la sustitución de maíz por soja en algunas rotaciones, por ejemplo en las usadas en la pampa ondulada, ha permitido mantener o mejorar levemente los balances de nitrógeno ya que el maíz presenta un balance más negativo que la soja, aun con uso de fertilizantes (figura 8). Un esquema racional de fertilización permitirá manejar los niveles de nutrientes en los suelos de manera de evitar que su disponibilidad caiga por debajo de niveles críticos.

Entre los productores agropecuarios existe una gran preocupación con relación a los cambios futuros del contenido de materia orgánica de los suelos. Este contenido refleja la diferencia entre las entradas producidas por el ingreso de residuos vegetales y las salidas generadas por la actividad de los microorganismos descomponedores, que eliminan el carbono mediante la respiración celular.

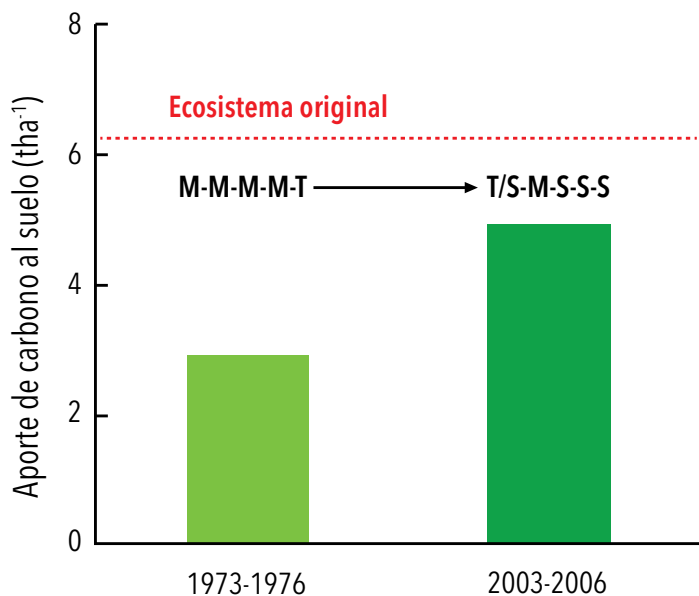




Figura 9. Aporte estimado de carbono de residuos vegetales a suelos de la pampa ondulada generados por las rotaciones usadas en diferentes períodos en esa subregión. M = maíz, T = trigo, S = soja. La línea punteada indica el aporte de carbono al suelo estimado para el ecosistema original. Fuente: Álvarez, Berhongaray *et al.*, 2012.

La introducción de soja en las rotaciones en reemplazo del maíz en algunas zonas determinó una drástica disminución de los ingresos de residuos vegetales al suelo por ser una especie de mucho menor porte. Sin embargo, el incremento generalizado de los rendimientos de todos los cultivos debido a la mejora tecnológica trajo aparejado un efecto contrapuesto, el de generar plantas cada vez más grandes que aportan más residuos al suelo. A esto se sumó también un mayor número de cultivos por año al generalizarse el doble cultivo trigo-soja en un mismo año. El resultado de estos dos procesos antagónicos ha sido que los ingresos de carbono en residuos a los suelos han aumentado respecto de los que se producían años antes en planteos agrícolas, aunque son todavía inferiores a los que existían bajo la vegetación pampeana original (figura 9). Es esperable que el aumento del ingreso de residuos a los suelos se mantenga en el futuro y permita incrementos de los niveles de materia orgánica a largo plazo.

Consideración final

En la región pampeana se ha observado un deterioro generalizado de los suelos debido a su cultivo, pero en su mayoría los cambios de las propiedades de los suelos no alcanzaron valores críticos o preocupantes. La tecnología ha compensado los efectos de la degradación sobre el rendimiento de los cultivos, incrementándolos. Es esperable que el avance de la agricultura y de la soja lleve a pérdidas de fertilidad de los suelos en el futuro, pero su impacto sobre la productividad puede minimizarse y hasta revertirse con el tiempo si se mantiene el efecto positivo de los avances tecnológicos producidos en las últimas décadas sobre los rendimientos. La agricultura y el proceso de sojización tienen otros impactos sobre los ecosistemas además de los descriptos aquí sobre los suelos, así como sobre aspectos económicos y sociales que no son abordados en este artículo, pero que resultan igualmente relevantes. 

LECTURAS SUGERIDAS




ÁLVAREZ R, BERTHONGARAY G, DE PAEPE J, MENDOZA MR, STEINBACH HS, CARIDE C y CANTET R, 2012, 'Productividad, fertilidad y secuestro de carbono en suelos pampeanos: efecto del uso agrícola', *Anales de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria*, t. LXVI: 381-426.

ÁLVAREZ R, PRYSTUPA P, RODRÍGUEZ MB y ÁLVAREZ CR (eds.), 2013, *Fertilización de cultivos y pasturas*, FAUBA, Buenos Aires.

ÁLVAREZ R, RUBIO G, ÁLVAREZ CR y LAVADO R (eds.), 2012, *Fertilidad de los suelos: caracterización y manejo en la región pampeana*, FAUBA, Buenos Aires.

DE PAEPE J & ÁLVAREZ R, 2013, 'Developments of a soil productivity index using an artificial neural network approach', *Agronomy Journal*, 105: 1803-1813.



An aerial photograph of agricultural fields, showing various green and yellow patches. A white rectangular box is overlaid on the image, containing text. The text is in a green color that matches the fields. The background image has a grid-like pattern overlaid on it, and several circular patterns are scattered across the scene.

La investigación en ciencias agropecuarias y los desafíos venideros

La investigación agropecuaria de la Argentina se nutre del trabajo de diversas instituciones, entre las cuales se destacan las universidades nacionales, el INTA y el Conicet, apoyadas a su vez por otras instituciones gubernamentales y, en menor medida, por la actividad privada. Los desafíos de

conocimiento que deberán enfrentar son diversos y de gran magnitud. Los cambios en el uso del suelo por expansión e intensificación de la agricultura, la reducción de la brecha entre los rendimientos alcanzados y los potenciales, la mitigación de los daños ambientales asociados a la actividad agropecuaria son solo unos ejemplos de estos desafíos.



Imagen satelital tomada en el inicio del verano. Muestra explotaciones agrícolas irrigadas por aspersión mediante dispositivos de pivote central que cubren áreas circulares. Cada círculo tiene entre 800m y 1600m de diámetro.

Martín Oesterheld
y María Elena Otegui

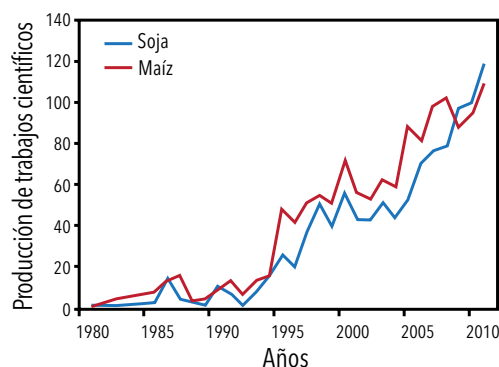
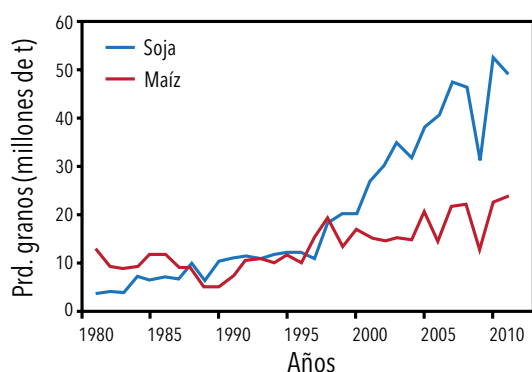
IFEVA, Instituto de Investigaciones Fisiológicas y
Ecológicas vinculadas a la Agricultura, UBA-Conicet

Algunos desafíos para las ciencias agropecuarias

Las investigaciones de los próximos años en esta disciplina dependerán de los problemas científico-tecnológicos que plantee el sector agrícola-ganadero y de la inercia de las actuales líneas de trabajo de los científicos. Los problemas del sector se encuadran en la actualidad en las perspectivas sobre la población humana, que predicen una situación alimentaria compleja y preocupante. Se estima que el 15% de la población no logra suplir sus necesidades de energía y proteína. Muchos más carecen de ciertos micronutrientes. A su vez, la población mundial alcanzará los nueve mil millones para la mitad del siglo XXI. La demanda de alimentos en cantidad y calidad crecerá más que proporcionalmente debido a cambios de hábitos alimentarios y mayor riqueza en diferentes países. Surge entonces una intranquilidad generalizada por lo que se ha llamado 'seguridad alimentaria'.

El efecto de la inercia de las investigaciones actuales sobre las futuras queda ilustrado por el hecho de que, desde 1999, la producción de soja en la Argentina superó a la del maíz hasta llegar a duplicarla en 2011; sin embargo, la generación de conocimiento sobre soja, medida por la producción de trabajos científicos sobre esta especie, recién superó a la del maíz once años más tarde, y solo por el 10%. Ante un fuerte cambio de la realidad agropecuaria, el sistema científico reaccionó con una demora significativa y aún no terminó de hacerlo. En consecuencia, la trayectoria de la disciplina en los próximos años será una combinación de una respuesta demorada a acontecimientos del pasado y de una incipiente respuesta a los problemas nuevos.

Las ciencias agropecuarias no son las únicas implicadas en la seguridad alimentaria. El estudio de la reducción de los desperdicios de alimentos, la modificación de



Evolución temporal de la producción de maíz y soja y de los trabajos científicos sobre esos cultivos en la Argentina. Fuentes: FAO y base de datos Scopus (no muy confiable antes de 1995).

dietas o los cambios de distribución de la riqueza pueden ser muy relevantes, pero exceden el campo de acción de este artículo. Aquí analizaremos algunos desafíos recientes y futuros para las ciencias agropecuarias y algunas respuestas que está dando y deberá dar esta disciplina.

Expansión y contracción del área agrícola

La mayor demanda de alimentos llevará la agricultura hacia zonas hoy no cultivadas. Si bien numerosos análisis sostienen que no hay demasiado excedente de tierra para cultivar, no toman en cuenta que muchos suelos hace treinta años considerados inaptos para ese uso hoy se cultivan en forma rutinaria. Cambios de tecnología, de condiciones climáticas y de precios han permitido el avance de los cultivos sobre lugares con enormes limitaciones productivas. Los cultivos penetraron en áreas que más frecuentemente ocupaba la ganadería. Como consecuencia, las áreas ganaderas remanentes son explotadas con mayor intensidad. El extremo de intensificación ganadera es el engorde a corral (*feed lot*), una ganadería sin tierra en la que los animales están encerrados y comen alimento balanceado.

Además del avance de la agricultura sobre nuevas tierras, el área de producción de alimentos se reducirá por competencia con la urbanización, y también con el cultivo para fines no alimentarios. El crecimiento urbano por expansión de las ciudades y colonización de áreas más

alejadas retira de la producción agropecuaria grandes superficies que mayoritariamente tienen alta calidad productiva. De manera similar, el uso creciente de los cultivos para producir combustible reduce el área disponible para producir alimentos.

Tanto el avance de los cultivos sobre tierras nunca cultivadas como la pérdida de área para la producción de alimentos plantean una gran diversidad de necesidades de investigación. El avance de la agricultura requiere conocer las condiciones ambientales de nuevas regiones, y de áreas particulares dentro de ellas. También se deben generar las variedades de cultivos adecuadas por mejoramiento genético, y crear las herramientas de manejo que se adapten a esas nuevas áreas. Se plantean preguntas sobre la sostenibilidad de estos avances y sus consecuencias sobre el funcionamiento de los ecosistemas.

La intensificación ganadera resultante de la expansión agrícola demanda conocimientos de los problemas de nutrición, sanidad y bienestar general de los animales confinados, y de las consecuencias ambientales de la mayor concentración de ganado. Pero sin llegar al nivel de confinamiento, la intensificación de la ganadería demanda conocimientos sobre nuevos forrajes, genética animal, técnicas de producción, manejo del sistema de producción y planes sanitarios.

La expansión y la contracción del área agrícola acrecienta el interés por investigar no solo la posibilidad de incorporar nuevas tierras para la agricultura sino también los patrones de variación del uso de la tierra, las bases técnicas para desarrollar sistemas de ordenamiento del territorio, y la manera en que los diversos usos afectan la sostenibilidad global y los servicios ecosistémicos en las escalas regionales y locales.

Brechas de rendimiento

Aumentar el rendimiento (producción por unidad de área) permite aumentar la producción en la misma superficie agrícola. Por ejemplo, el área cultivada con maíz en la Argentina no ha variado o incluso ha disminuido levemente en las últimas décadas. Sin embargo, la producción aumentó en forma sostenida gracias al mayor rendimiento, que fue motorizado por cambios genéticos y tecnológicos. Aun así, los rendimientos promedio suelen ser del orden del 50% menores que los alcanzables. Esa diferencia se conoce como *brecha del rendimiento*. Siguiendo el ejemplo del maíz, aun los rendimientos de las mejores zonas están muy por debajo de los potenciales obtenidos en experimentos conducidos con riego y abundante fertilización.

Las causas de la brecha son muy diversas y complejas. Una de ellas es la falta de conocimiento para aplicar los recursos necesarios de acuerdo con la heterogeneidad ambiental. Este problema es abordado explícitamente



Engorde de novillos en corral: un *feed lot* de la pampa húmeda.



Campo sembrado con maíz en la provincia de Buenos Aires.

por la agricultura de precisión, pero incluye todo el manejo de la agricultura y la ganadería. Otra causa es económica, manifestada por las relaciones entre los costos y los beneficios de alcanzar mayores rendimientos. Finalmente, en el orden institucional, las intervenciones de los gobiernos por medio de incentivos, penalizaciones, barreras arancelarias y no arancelarias, e inversión en infraestructura e investigación pueden afectar la viabilidad de cerrar la brecha.

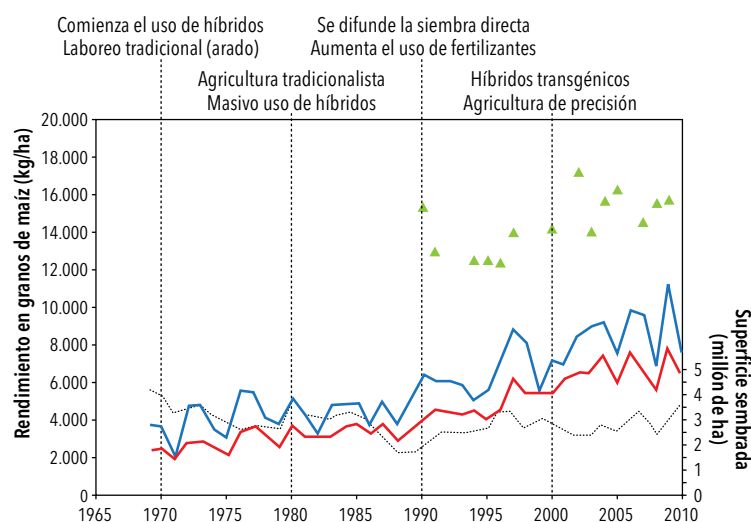
Cerrar la brecha abre numerosas líneas para investigar. Los productores deberán contar con más información sobre la heterogeneidad ambiental y el manejo apropiado para distintos ambientes. Este mayor ajuste entre manejo y ambiente demandará avances en la gestión de gran cantidad de datos, mejores pronósticos climáticos de mediano plazo, mayor conocimiento de las variaciones de las propiedades del suelo, técnicas para manejar mejor el agua, crecimiento de las tecnologías basadas en monitorización satelital de cultivos y pasturas, y modelos de simulación que incorporen esa monitorización y la vinculen con distintos escenarios ambientales y alternativas de manejo. Las investigaciones deberán relacionar lo productivo con lo comercial, particularmente para quienes deben tomar decisiones de gran escala. Es decir, una visión integrada de cadena de producción-comercialización.

Los límites del rendimiento

El mejoramiento genético ha logrado aumentar paulatinamente el potencial de rendimiento de los cultivos, es decir, el rendimiento en un ambiente con nutrientes y agua ilimitados y con malezas, enfermedades, plagas y otras fuentes de estrés controladas. En tal condición, el

potencial de rendimiento solo está limitado por la genética (además de otras cuestiones difíciles de manejar en cultivos extensivos como la radiación solar incidente o la temperatura). Sin embargo, los cultivos experimentan limitaciones en el campo que el mejoramiento genético también tiende a mitigar, como sucede con las variedades resistentes a herbicidas como el glifosato, o a plagas como los insectos barrenadores del tallo, o a la sequía.

La mayoría de los análisis son poco optimistas sobre el futuro, debido a que se observa cierto estancamiento



Evolución temporal del rendimiento de maíz (en granos, líneas roja y azul) y de la superficie cultivada sembrada con ese cultivo (línea punteada negra). La línea roja refleja el rendimiento en el país; la azul, en el partido de Pergamino. Los triángulos verdes indican el rendimiento de parcelas experimentales bajo riego y fertilización (también en Pergamino). Arriba se consignan los cambios tecnológicos más importantes de cada década. Fuentes: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, y datos de fuentes diversas recopilados por ME Otegui.


y se tiene poca esperanza en que cambios en unos pocos genes –como promete el avance de los organismos genéticamente modificados– puedan traducirse en aumentos significativos del rendimiento potencial. En los últimos años, el mejoramiento genético produjo avances sustanciales en la forma de lidiar con malezas y plagas, pero no logró aún aumentos equivalentes del rendimiento. También, tanto malezas como insectos han evolucionado hacia formas adaptadas a esas transformaciones genéticas de los cultivos, por lo que en los próximos años veremos la respuesta de los mejoradores a estas adaptaciones.

También hay una amplia ventana para la mejora genética animal. El mejoramiento tradicional por cruzamientos dentro y entre razas seguirá empujando los límites del rendimiento gracias a un gran progreso de los métodos estadísticos que cuantifican el mérito genético de los individuos, el uso difundido de la inseminación artificial y la selección más enfocada en caracteres directamente ligados al rendimiento. Además, se intensificará la selección por otras características que son demandadas con fuerza creciente: calidad de los productos, bienestar animal, resistencia a enfermedades y menores consecuencias ambientales.

Para cualquiera de estos objetivos, se espera que las técnicas de marcado molecular y de transgénesis cobren creciente importancia. Se conoce hoy el genoma completo de varias especies utilizadas en la producción animal extensiva e intensiva, y se espera que ese conocimiento revolucione el mejoramiento genético. También se ha avanzado significativamente en las técnicas para lograr animales transgénicos. De la misma manera que con los cultivos, se deberá resolver cómo los cambios genéticos

concretos se traducen en mejoras del comportamiento global del individuo y del sistema de producción.

¿Intensificación sostenible?

En definitiva, se espera que en los próximos años, en el marco descrito por los párrafos precedentes, las ciencias agropecuarias marquen rumbos para obtener más producción con menos tierra, es decir, en un contexto de intensificación. Pero esa intensificación irá acompañada por una demanda igualmente fuerte por reducir las repercusiones ambientales de la actividad agropecuaria. En un escenario de cambio climático, de aumento de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, de pérdidas inéditas de biodiversidad y de los servicios de los ecosistemas, tanto aumentar la producción como mitigar sus consecuencias ambientales requerirá conocimiento científico y tecnológico. Así como la ciencia y la tecnología fueron cruciales para el enorme crecimiento de la producción agropecuaria en el último siglo, se espera que también lo sean ahora para solucionar este multifacético desafío. Ya se han dado pasos significativos en ese sentido, tanto en el ámbito mundial como en el local. Es especialmente alentador que en los últimos años en muchas partes se hayan unido las ciencias ambientales con las agropecuarias en un mismo departamento o facultad, lo cual favorece que tanto la investigación como la educación confluyan hacia esta demanda por una mayor producción sostenible. El desafío para todos es enorme. 

LECTURAS SUGERIDAS



GODFRAY HCJ et al., 2010, 'Food security: the challenge of feeding nine billion people', *Science*, 327: 812-818.

TESTER M & LANGRIDGE P, 2010, 'Breeding technologies to increase crop production in a changing world', *Science*, 327: 818-822.

THORNTON PK, 2010, 'Livestock production: recent trends, future prospects', *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365: 2853-2867.

Martín Oesterheld, María Semmartín y
Antonio Hall

IFEVA, Facultad de Agronomía (UBA)-Conicet

Análisis bibliográfico de la investigación agronómica en la Argentina

Actividad agropecuaria

Por actividad agropecuaria normalmente se designa a un conjunto variado de labores cuyo núcleo es la producción primaria de alimentos, maderas y fibras. Por lo común la denominación también se extiende a la manufactura de diversos insumos utilizados por aquella producción, como fertilizantes, semillas, maquinaria, pesticidas, etcétera, lo mismo que a las llamadas agroindustrias y a la comercialización de todos los productos mencionados. Como se advierte, se trata de una multiplicidad de tareas, con claros elementos centrales y con límites difusos.

La actividad agropecuaria utiliza distintas formas de conocimiento. En parte es conocimiento poco estricto basado en la experiencia, o es de tipo anecdótico, o deducido por mecanismos pobremente documentados de prueba y error. Pero de modo creciente se trata de conocimiento científico y tecnológico obtenido de modo sistemático. Para poner a prueba sus hipótesis en experimentos diseñados con criterios rigurosos, los investigadores en ciencias agropecuarias, igual que los de otras ciencias, utilizan tanto las ideas, los marcos de referencia y las técnicas propios de sus disciplinas, como también los de otros campos del conocimiento. El creciente peso del asesoramiento profesional en las decisiones empresarias, la abundancia de nuevo conocimiento riguroso, la menor rentabilidad de las explotaciones y la necesidad de mitigar o evitar problemas ambientales derivados de prácticas agronómicas deficientes han incrementado la importancia del conocimiento científico y tecnológico en la producción agropecuaria.

Investigación agropecuaria

En correspondencia con la diversidad de las actividades agropecuarias, existe una constelación de disciplinas reunidas bajo la denominación de ciencias agropecuarias, que también tiene claros elementos centrales y límites difusos. Por ejemplo, estudiar los efectos de la densidad de siembra sobre la forma que toman las plantas de trigo pertenece al núcleo central de esas ciencias. Por comparación con tal estudio, investigar ciertas formas mutantes (carentes de la batería de pigmentos que les permiten detectar la proximidad de sus vecinas) de la planta *Arabidopsis thaliana*, que es diminuta y sin utilidad productiva, está en la periferia de dichas ciencias. Sin embargo, para quienes estudian la densidad de siembra del trigo resultan útiles las investigaciones sobre *Arabidopsis*. De esta manera, el concepto de ciencias agropecuarias se extiende hasta abarcar el conjunto de las investigaciones de interés directo para los científicos que se ocupan de la producción primaria de alimentos, maderas y fibras.

En la Argentina, una parte importante de la investigación científica y tecnológica en ciencias agropecuarias se lleva adelante en el INTA, las facultades de agronomía de las universidades nacionales y algunos institutos de investigación del Conicet dedicados al tema. Llamaremos a este grupo las instituciones centrales de la investigación agronómica. Otra parte se lleva a cabo en facultades no agronómicas de las universidades nacionales (veterinaria, biología, farmacia, química, etcétera), en institutos del Conicet dedicados a otros temas, en organismos públicos

provinciales y en entidades privadas. Es escasa la producción científica y tecnológica en ciencias agropecuarias que proviene de universidades privadas. Algunas entidades proveen fondos pero no ejecutan investigación, principalmente la ANPCyT, el Conicet en su carácter de dispensador de subsidios para investigar y la Fundación Antorchas.

Evaluación de la investigación

Evaluar la cantidad y calidad de la producción científica y tecnológica de un país permite diseñar políticas sobre bases relativamente sólidas. Para realizar esa evaluación, se pueden considerar recursos asignados, publicación de trabajos, desarrollo de tecnología, formación de personal calificado, etcétera. A nuestro entender, el esfuerzo argentino de investigación en ciencias agropecuarias no ha sido evaluado objetivamente. Se carece por ello de información sobre cuánto conocimiento se produce, no solo el que se publica en las revistas de más prestigio y circulación sino, también, el que aparece en innumerables órganos de menor rango, tanto argentinos como extranjeros. Tampoco se sabe cómo se distribuye esa producción intelectual por instituciones y áreas temáticas, ni cómo se distribuyen los recursos para realizar las investigaciones. Y, sobre todo, se carece de los datos que permitan hacer un diagnóstico y proponer mejoras sobre bases ciertas. En este documento, intentaremos: (i) evaluar de manera cuantitativa la magnitud y calidad de la investigación agropecuaria en la Argentina; (b) examinar los recursos humanos y financieros dedicados a ella, y (c) analizar la distribución institucional, geográfica y temática de ambas cosas.

Método del estudio

Para llevar adelante el análisis, usamos dos bases de datos que registran trabajos publicados en todo el mundo sobre la mayoría de los aspectos de las ciencias agropecuarias: CAB Internacional y AGRIS (FAO). Haberlas elegido implica que aceptamos la definición de producción científica en dichas ciencias que aplican reconocidos agentes externos al país, los cuales, desde hace mucho años, seleccionan lo que creen adecuado del material publicado e informan de su existencia a la comunidad científica internacional. (Véase el recuadro ‘¿Cómo estimar la cantidad y calidad de la producción científica y tecnológica? Bases de datos bibliográficas y factor de impacto’.)

Sobre la base de los registros contenidos en esas bases, definimos el conjunto de trabajos publicados entre 1996 y 1998 cuyo primer autor indicó que trabajaba en la Argentina.

Este análisis de tres años se asemeja más a una fotografía instantánea que a un relato temporal. El último de esos años fue el más reciente que estaba completo al comenzar el trabajo, y no fuimos más atrás de 1996 para evitar que la información a analizar creciera por encima de lo manejable con nuestros recursos. No quedó incluida la producción de argentinos como colaboradores de autores extranjeros, aunque sí lo inverso. También excluimos trabajos sobre alimentación o enfermedades humanas (plagas y dolencias en el ambiente rural, toxicidad de alimentos, etcétera), lo mismo que otros acerca de acuicultura y veterinaria no directamente relacionados con la producción pecuaria. Igualmente quedaron fuera del análisis las actas y los resúmenes de congresos (lo que contienen se suele publicar después en revistas), capítulos de libros (esas bases los cubren muy parcialmente) e informes técnicos (no son comparables por la cantidad y calidad de la información que contienen con un artículo científico y, en última instancia, también pueden ser publicados más tarde en revistas).

Para calificar la calidad de los trabajos, asignamos a cada artículo el llamado ‘factor de impacto’ de la revista en la que estaba publicado. Este es difundido por el Institute of Scientific Information, que confecciona el *Science Citation Index*. Asignamos factor de impacto cero a revistas no registradas por el ISI (en jerga, revista *no indexadas*). Este procedimiento tiene ventajas y desventajas, que se resumen en el recuadro mencionado. También relevamos información sobre los recursos humanos y financieros de las tres instituciones mencionadas que realizan el grueso de la investigación agropecuaria argentina, obtenida de publicaciones oficiales, comunicaciones personales, páginas de internet y el presupuesto nacional, más algunas estimaciones que se indicarán al presentar los resultados.

Con esos datos analizamos cinco cuestiones: (i) la cantidad y calidad del conjunto de la producción científica y tecnológica argentina en ciencias agropecuarias; (ii) la de las tres grandes instituciones agronómicas (INTA, facultades de agronomía e institutos agronómicos del Conicet);

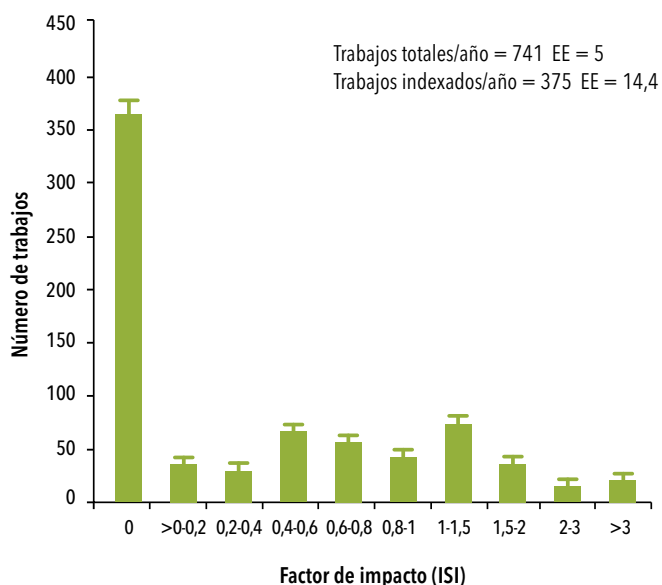


Figura 1. Producción anual de trabajos en ciencias agropecuarias (1996-1998) clasificados según el factor de impacto de la revista (ISI). En la categoría 0 se incluyen los trabajos aparecidos en revistas no indexadas por el ISI. EE es el error estándar de la producción total entre los tres años. Las barras de error sobre cada barra de datos muestran el error estándar entre años por clase de factor de impacto. Nótese que los intervalos de clase son variables.

	Instituciones centrales de investigación agronómica	Instituciones no centrales de investigación agronómica	Todas las instituciones
Trabajos no indexados	217	149	366
Trabajos indexados	159	216	375
Todos los trabajos	376	365	741

Tabla 1. Número medio anual de trabajos publicados por investigadores argentinos en revistas periódicas de ciencias agropecuarias en el período 1996-1998, según el tipo de institución en que se desempeñaban y el tipo de revista en que publicaron. Por instituciones centrales de investigación agronómica se entienden al INTA, las facultades de agronomía de las universidades nacionales y los institutos del Conicet dedicados a las disciplinas agronómicas.

(iii) la distribución disciplinaria de la investigación agropecuaria; (iv) los recursos financieros y humanos dedicados a dicha investigación por las instituciones especializadas en ella, y (v) la magnitud y distribución de los recursos en comparación con la producción científica. Presentamos los datos monetarios en pesos, equivalentes a dólares pues durante el período en cuestión rigió la llamada convertibilidad del peso con relación al dólar a la paridad 1 : 1.

Producción científica y tecnológica

La producción media anual argentina de artículos agronómicos en el período 1996-1998, como se aprecia en la tabla 1, fue de 741 trabajos, de los que 366 por año, o casi el 50%, fue publicado en revistas no indexadas por el ISI, tanto nacionales como extranjeras. Por otra parte, esos 741 trabajos fueron generados por partes casi iguales por las instituciones centrales de la investigación agronómica y por las no centrales o periféricas (376 y 365 respectivamente). La mayoría de los artículos publicados en revistas indexadas salió en aquellas con factor de impacto entre 0,4 y 1,5 (figura 1). Las universidades nacionales, por sí solas y asociadas con unidades del Conicet o del INTA, fueron el origen del 77% de todos los trabajos, y del 79% de los indexados por el ISI (figura 2). En la producción de institutos del Conicet predominó la realizada con universidades, mientras que en la del INTA ese tipo de asociación fue minoritario.

El conjunto de instituciones públicas provinciales y de entidades privadas aportó menos del 10% de los trabajos: en ese grupo, el aporte de las universidades privadas no alcanzó al 0,4% del total. Considerando solo los trabajos aparecidos en revistas indexadas, la proporción de los realizados en colaboración por investigadores de la universidad y del Conicet o solo por integrantes del Conicet fue ligeramente mayor que en el conjunto total de trabajos.

Entre las revistas no indexadas, las más frecuentes fueron las publicadas por algunas facultades de agronomía o por las asociaciones nacionales de ciencias del suelo y de producción animal. Una proporción alta de trabajos salidos en revistas no indexadas (30%) fue publicada en casi cien revistas, de suerte que en cada una apareció menos del 1% de ellos. La producción en revistas indexadas estuvo igualmente atomizada: el 50% de los trabajos se publicó en 138 revistas que, individualmente, también recibieron menos del 1% de

los trabajos (tabla 2). A menudo se discute si la clase de revista –indexada o no– tiene consecuencias sobre la accesibilidad de los trabajos para el lector nacional. En la biblioteca de la FAUBA, un lector hallaría aproximadamente el 70% de los trabajos aparecidos en revistas no indexadas y el 60% de los salidos en órganos indexados. En otras palabras, publicar en revistas no indexadas no facilita marcadamente el acceso, ni hacerlo en las indexadas es garantía de accesibilidad. Resulta aconsejable, desde ese punto de vista, publicar en las más leídas y evitar, por ejemplo, las no indexadas extranjeras de baja circulación, así como las indexadas de bajo factor de impacto y las temáticamente periféricas.

Instituciones centrales

La producción media anual de las tres instituciones centrales de investigación agronómica para el mismo período fue de 376 trabajos, es decir, aproximadamente la mitad de la producción total. De ellos, 217, es decir casi el 60%, fue publicado en revistas no indexadas por el ISI, nacionales como extranjeras. Ello indica que las instituciones centrales tuvieron menor tendencia que las periféricas a enviar su investigación a revistas indexadas. La mayoría de los trabajos originados en las instituciones centrales publicados en revistas indexadas apareció en aquellas con factor de impacto entre 0,4 y 0,8 (figura

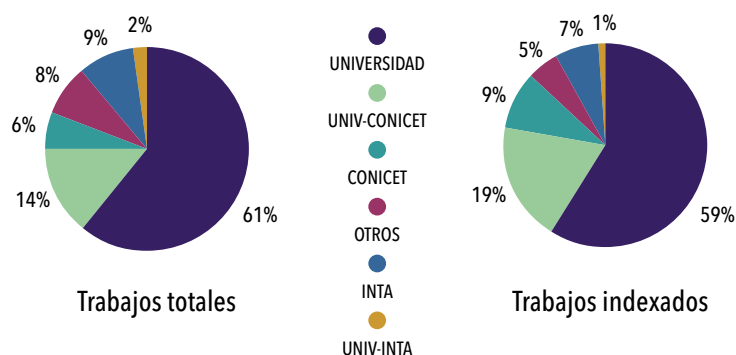


Figura 2. Distribución de los trabajos publicados entre 1996 y 1998 por todas las instituciones. Total de trabajos publicados en tres años: 2223 (741 por año en promedio); trabajos indexados por el ISI publicados en tres años: 1098 (366 por año en promedio). Los trabajos provenientes de la interacción entre una universidad nacional y el INTA o el Conicet corresponden, por ejemplo, a la unidad integrada de Balcarce, que une a la UNMDP con la estación experimental Balcarce del INTA, o al CERZOS, un instituto mixto de la Universidad del Sur y el Conicet. Otros incluye principalmente organismos provinciales y privados.

3). Las universidades nacionales, por sí solas y asociadas con unidades del Conicet o del INTA, fueron el origen del 78% de todos los trabajos publicados por las instituciones centrales, y del 74% de los indexados por el ISI (figura 4). Las facultades de agronomía de las universidades nacionales contribuyeron, por sí solas, con el 57% del total de trabajos y el 46% de los aparecidos en órganos indexados. Los institutos específicos del Conicet dieron individualmente origen a menos del 10% de los trabajos, pero su interacción con universidades nacionales produjo el 16% del total de trabajos y el 25% de los indexados. Muchos investigadores y becarios del Conicet, sin embargo, trabajan en universidades y no pertenecen a un instituto, por lo que la contribución de esa entidad a la investigación agronómica es mayor de lo que sugieren las cifras citadas. Por su lado, el INTA contribuyó con el 22% de todos los trabajos publicados por las instituciones centrales, incluyendo su interacción con universidades. Esa participación relativa disminuyó levemente (al 20%) en los trabajos aparecidos en revistas indexadas.

De las facultades de agronomía de universidades nacionales, cuatro (las de la UBA, la UNLP, la UNSur y la UNMDP) contribuyeron con el 65% de los trabajos y cerca del 75% de

los indexados (figura 5). Una facultad, la FAUBA, contribuyó con más del 30% de los trabajos totales y del 40% de los indexados. Una distribución tan concentrada contrasta con la de Australia, país cuya problemática agropecuaria no es muy diferente de la argentina. Allí, el 40% de los trabajos indexados producidos por el sistema universitario fue generado por cuatro universidades, el 75% por diez, y la universidad que más produjo aportó menos del 11% de los trabajos.

En el INTA también se observó una gran concentración en pocas unidades: cuatro de estas (Castelar, Balcarce, IFFIVE y Bariloche) originaron casi el 70% de los trabajos y el 75% de los indexados (figura 6). De Castelar salió un tercio de las publicaciones indexadas del INTA. Si se dejan de lado las 8 unidades más productivas, 25 estaciones experimentales produjeron en conjunto el 23% de las publicaciones y el 10% de las indexadas, aunque cada una solo haya tenido una pequeña contribución.

Espectro disciplinario

Las disciplinas que recibieron mayor atención fueron biología de plantas, sanidad vegetal, producción vegetal y

¿CÓMO ESTIMAR LA CANTIDAD Y CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA?

Bases de datos bibliográficas y factor de impacto

Un supuesto central sobre el que se apoya el análisis explicado en este informe —lo mismo que muchos estudios acerca del estado de las ciencias agropecuarias u otras disciplinas realizados en diferentes lugares del mundo— es que la producción científica y tecnológica se traduce en artículos publicados en determinadas clases de revistas o *journals* de aparición periódica. Se trata de aquellas revistas que, en mayor o menor medida, someten los trabajos que reciben para publicar a evaluación y crítica previas y anónimas por parte de árbitros independientes y ajenos a los editores: es lo que en la jerga se llama *revistas con referato* (neologismo que traduce la expresión *refereed journals*). Por lo tanto, lo que aparece en esas revistas permite evaluar el estado de la producción reconocida de una disciplina. Concordantemente, nuestro análisis no tomó en cuenta resultados de investigación que no alcanzaron el estado final de un artículo en una revista de la clase indicada, aunque hubiesen sido dados a conocer mediante, por ejemplo, informes institucionales, gacetillas o resúmenes de congresos, ya que tales materiales no pasan por un proceso de evaluación y crítica independientes antes de ser hechos públicos. Por igual razón tampoco consideramos resultados que aparecen en publicaciones llamadas 'de archivo', como inventarios de flora o mapas de suelos o vegetación, o aquellos que resultan en productos físicos o patentes (una nueva variedad de trigo o un nuevo dispositivo).

Existen varios servicios que recopilan sistemáticamente información sobre artículos publicados en revistas periódicas más o menos reconocidas y la ponen a disposición de los interesados (a título oneroso o gratuito, según el caso). Algunos (como el Institute for Scientific Information o ISI, una entidad domiciliada en Filadelfia) son muy selectivos y solo relevan

lo aparecido en revistas de amplia circulación y con estrictos procesos de referato; otros, que reúnen mayor cantidad de referencias, registran trabajos salidos incluso en revistas de circulación muy limitada y referato más laxo o sin este. Inicialmente recurrimos a este segundo tipo de recopilación para establecer la cantidad de trabajos de las características descriptas producidos en la Argentina. Una de esas recopilaciones es la del CABI (CAB International), que dio lugar a una extensa base de datos bibliográficos especialmente orientados a las ciencias agropecuarias. Otra es la base AGRIS de la FAO, que incluye información agropecuaria de muy diverso origen geográfico y amplia variedad temática. Medir la producción científica con estas varas tiene la virtud de la objetividad, pues pone en manos de entidades internacionales la decisión de qué material recopilar. Por otra parte, ambas bases constituyen la mayor recopilación existente de información publicada en ciencias agropecuarias. Alguien interesado en un tema particular tendría la máxima probabilidad de hallar información si la buscara allí. Por ello nos pareció razonable usar esas bases para nuestro propósito, pero, a modo de verificación, enviamos a una docena de investigadores del país la lista de su producción científica tomada de las mencionadas bases y todos contestaron que reflejaba satisfactoriamente su trabajo. Se pudo advertir que solo quedaron afuera artículos publicados en revistas extranjeras de muy limitada circulación (es decir, extranjeras pero no internacionales) o en órganos de divulgación como CIENCIA HOY. Así, el texto que usted está leyendo —publicado en dicha revista y puesto en circulación bajo la forma de una separata— probablemente no sea incorporado a esas bases.

Con lo anterior queda resuelta la cuestión de saber qué cantidad de ciencia se produjo. ¿Cómo establecer la calidad de esa ciencia? En

biología animal, las que concentraron cerca del 70% de las investigaciones publicadas (tabla 3). Las que recibieron menor atención fueron las vinculadas con equipamiento y maquinaria agrícola, ambiente y clima, economía agraria y producción animal. Si se considera el conjunto de todas las instituciones que hacen investigación agronómica y se las compara con las que hemos llamado centrales, nuestras cifras revelaron un interés semejante por las distintas disciplinas. Las pocas diferencias destacables fueron la tecnología de fibras y alimentos, comparativamente poco atendida por las instituciones centrales, y la genética vegetal y las ciencias del suelo, comparativamente más concentradas en ellas.

En el conjunto de los trabajos, la distribución de áreas disciplinarias no fue marcadamente diferente de la observada en Australia. En ambos países predominan los estudios de plantas por sobre los de animales, y de los biológicos por sobre los económicos o los relacionados con el equipamiento. Sin embargo, en los trabajos aparecidos en revistas indexadas, en Australia no existe el gran predominio de ecología, fisiología, bioquímica y biología molecular de plantas que se observa en la Argentina. Allí, la producción vegetal es la subdisciplina más representada,

seguida de sanidad vegetal y solo en tercer lugar de ecología, fisiología, bioquímica y biología molecular de plantas, con el 14% de los trabajos, en contraste con el 25% en la Argentina. Es probable que este sesgo de la Argentina se deba al desarrollo espontáneo de grupos de investigación de mayor tradición en esas áreas disciplinarias. Tanto en los trabajos totales como en los indexados, en Australia tuvieron más peso que en la Argentina la biología animal y la genética y mejoramiento vegetales.

Recursos humanos y financieros

Según nuestra estimación, en el lapso abarcado por el estudio la Argentina asignó anualmente unos 212 millones de pesos a la investigación, la formación profesional y la extensión en ciencias agropecuarias (tabla 4). El 49% de ese presupuesto anual correspondió a investigación y extensión realizadas por el INTA, mientras que el 43% correspondió a investigación y educación llevada a cabo por las universidades nacionales. El 3% correspondió a investigación ejecutada por el Conicet. El 5% se financió con subsidios para investigación y desarrollo aportados por la

otras palabras, ¿cómo se determina la calidad de un artículo y de la investigación que lo produjo? Una manera indirecta de hacerlo, que también permite llegar a una medida numérica, es analizar la suerte que corrió el trabajo luego de publicado, en particular, registrar la frecuencia con que otros autores lo citaron. Esto supone aceptar que, una vez que la comunidad tomó conocimiento de un trabajo, lo citará en posteriores artículos con una frecuencia que guarda cierta proporción con la importancia de su contribución al conocimiento. Trabajos que se caractericen por su originalidad, la corrección de los métodos, la claridad de los argumentos, etcétera, serán citados con mayor frecuencia que los desprovistos de esas virtudes. Es fácil imaginar, sin embargo, posibles excepciones (excelentes trabajos publicados en idiomas poco difundidos, trabajos erróneos frecuentemente citados como para mostrar tal carácter, etcétera). Pero, en términos generales, se puede aceptar que existe una correlación, imperfecta pero significativa, entre la calidad de los trabajos y la frecuencia con que son posteriormente citados.

El mencionado ISI registra las citas que aparecen en un grupo de unas 5000 revistas científicas, supuestamente las de mayor circulación entre la comunidad científica internacional. Da a conocer esos datos con el título *Science Citation Index* (Índice de Citas Científicas). Pero si bien el número de otros artículos que citan un artículo determinado puede considerarse una medida de su calidad, los trabajos son citados durante muchos años, por lo que habría que dejar pasar un largo tiempo para evaluar acabadamente dicha calidad. Para obtener una evaluación rápida, aunque menos fiel, se suele recurrir al número de citas promedio que reciben los trabajos de la revista en que fue publicado. Ese número

ha pasado a ser conocido por el nombre de factor de impacto de la revista en un año dado: se calcula como una fracción que tiene en el numerador la cantidad de citas que recibieron ese año, en revistas indexadas de todo el mundo, los artículos publicados en la revista en cuestión durante los dos años anteriores, y en el denominador, la cantidad de artículos publicados durante ese bienio por la revista analizada. El factor de impacto es un indicador de las características de la revista, no de un trabajo particular. Mide, en todo caso, la calidad media de los artículos que saca esa revista. Es sensible al tamaño de la comunidad científica que trabaja en determinada área temática: a igualdad de otras circunstancias, revistas que se ocupan de disciplinas más cultivadas (como medicina), publican artículos que reciben más citas (por comparación con las que tratan disciplinas menos populares). De hecho, ciertas revistas resultan excluidas de la base de datos del ISI por ser muy estrecho su interés disciplinario y no por publicar trabajos de poca calidad u originalidad.

Teniendo en cuenta las ventajas y limitaciones del factor de impacto como indicador de calidad, en nuestra evaluación de la producción científica agropecuaria argentina adoptamos un enfoque doble. Para incluir el mayor número de trabajos, comenzamos con las bases de datos CABI y AGRIS en lugar de la del ISI. Pero para analizar los trabajos sometidos a una evaluación de calidad tomamos los salidos en revistas indexadas por el ISI. El lector encontrará entonces dos aproximaciones paralelas, una más amplia que incluye prácticamente todo lo publicado en revistas periódicas y otra más restringida que incluye lo publicado en el más pequeño grupo de revistas tenidas en mayor estima por la comunidad académica nacional e internacional.

ANPCYT. Entre el 80% y el 85% de los presupuestos de las tres instituciones centrales se asignó al pago de salarios.

Debido a que el INTA y las universidades nacionales no están exclusivamente orientados a la investigación (el INTA tiene una fuerte actividad de extensión y las universidades de capacitación profesional), es difícil conocer qué esfuerzo dedicaron a la primera. Ello se intenta estimar en

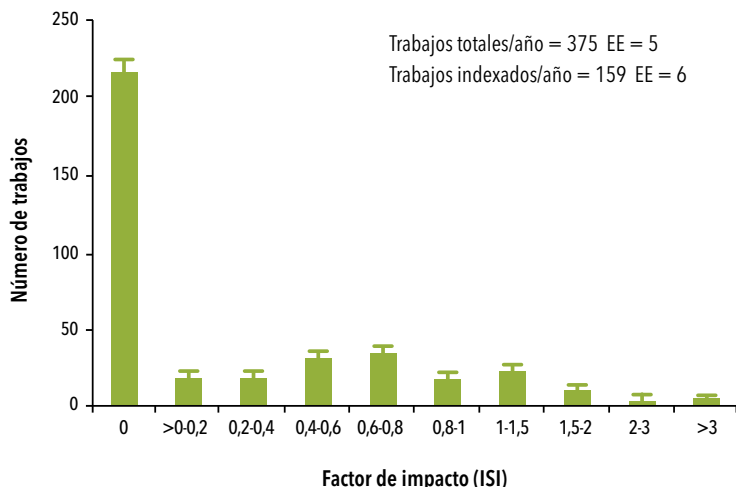


Figura 3. Producción anual de trabajos en ciencias agropecuarias (1996-1998) de las tres instituciones centrales de investigación. Demás referencias, como en la figura 1.

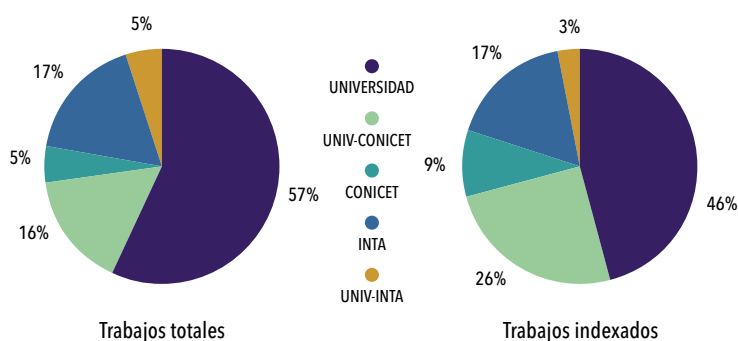


Figura 4. Distribución de los trabajos publicados entre 1996 y 1998 por las instituciones centrales de la investigación agronómica. Demás referencias, como en la figura 2.

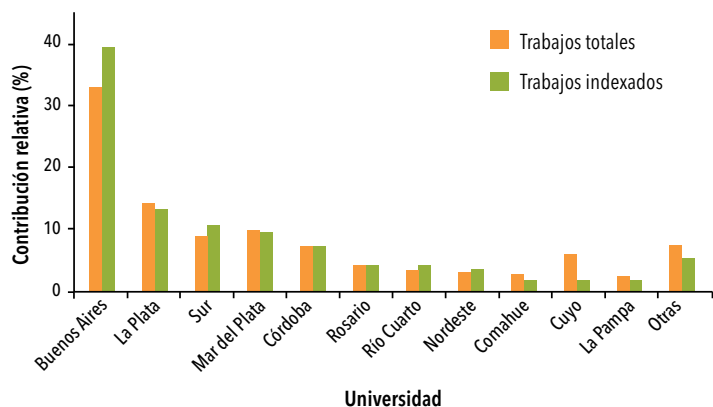


Figura 5. Contribución relativa de las facultades de agronomía al número de trabajos publicados por las universidades nacionales entre 1996 y 1998. Total de trabajos publicados por esas instituciones en tres años: 879 (293 por año en promedio); trabajos indexados por el ISI publicados en tres años: 351 (117 por año en promedio). En Otras se incluyeron las facultades en las que se originó menos del 1,2% de los trabajos indexados.

el recuadro 'Inversión en investigación por el INTA y las universidades', donde se llega a la conclusión de que la inversión específica en investigación agronómica de las tres instituciones centrales sería de unos 103 millones de pesos anuales, el 0,5% del valor del PBI agropecuario. La distribución de ese presupuesto sería el 41% por el INTA, el 52% por las universidades nacionales y el 7% por el Conicet.

Productividad

Aceptando que los trabajos publicados en revistas científicas proporcionan una medida razonable de la investigación científica y tecnológica, es posible realizar una primera estimación de eficiencia (producción / insumos) relacionando la cantidad de artículos con el costo de la investigación, tanto para el conjunto del sistema como para alguna de sus partes. Por cada trabajo publicado, de cualquier calidad, el sistema gastó unos 270.000 pesos. Si se relaciona el gasto total solo con lo publicado en revistas indexadas por el ISI, el gasto por trabajo fue de 680.000 pesos. Como es obvio, el costo directo de un trabajo de investigación es en promedio considerablemente menor. Si en lugar del costo económico se considera la cantidad de investigadores, cada uno produce, en promedio, un trabajo del que es primer autor cada cinco años, o cada doce años si solo se consideran los trabajos indexados por el ISI (el primer autor, en estas disciplinas, se considera el responsable principal del estudio).

Existen en el sistema diversas disparidades entre la distribución de los productos y la de los recursos. Por ejemplo, entre las tres grandes instituciones (figura 4 y tabla 3). Algo similar se observa en una de esas instituciones, las universidades nacionales. La relación entre la producción de cada facultad de agronomía y el tamaño de su dotación docente muestra que algunas producen mucho más eficientemente que otras (figura 7). Solo cinco facultades producen más de cinco trabajos indexados por año y más de 0,05 trabajos indexados por académico (equivalente full-time), y lo hacen con dotaciones docentes muy diferentes. Reduciendo la escala del análisis, dentro de la FAUBA también se observa una distribución dispar de producción y recursos entre las unidades que la componen (figura 7). Solo cinco cátedras superan los cinco trabajos indexados por año y los 0,7 trabajos por investigador (equivalente full-time). El 82% de los trabajos indexados que se publican anualmente en esa facultad es obra de esas cinco cátedras, que en conjunto tienen el 26% del personal académico (siempre equivalente full-time). Por otra parte, dichos trabajos conforman el 33% de la producción científica indexada de las facultades de agronomía de las universidades nacionales. Ello sugiere que la mayor parte de la producción de alto impacto se genera en unos pocos grupos de investigación comparativamente grandes (esas cinco cátedras están entre las diez mejor dotadas), que han alcanzado una alta capacidad productiva. Hay algunos indicios de que algo

Revistas no indexadas por el ISI	%	Revistas indexadas por el ISI	%
<i>Revista de la FAGR, UBA</i>	15,5	<i>Journal of Arid Environments</i>	6,7
<i>Ciencia del Suelo</i>	10,3	<i>Phyton</i>	4,8
<i>Revista Argentina de Producción Animal</i>	6,5	<i>Field Crops Research</i>	3,8
<i>Revista de la FCAGR, UNCuyo</i>	6,0	<i>Plant Disease</i>	2,7
<i>Revista de la FAGR, UNLP</i>	5,4	<i>Journal of Range Management</i>	2,5
<i>Fitopatología</i>	3,8	<i>Comm. Soil Science & Plant Analysis</i>	2,3
<i>Horticultura Argentina</i>	3,5	<i>Crop Science</i>	2,1
<i>AgroCiencia</i>	3,2	<i>Annals of Botany</i>	1,9
<i>Maize Genetics Cooperation Newsletter</i>	3,2	<i>Cereal Research Communications</i>	1,9
<i>AgriScientia (FAGR, UNCba)</i>	2,6	<i>Pesquisa Agropecuaria Brasileira</i>	1,7
<i>Boletín de Sanidad Vegetal y Plagas</i>	2,0	<i>Plant Breeding</i>	1,7
<i>Avances en Horticultura</i>	1,8	<i>Animal Science</i>	1,5
<i>Agricultura Técnica</i>	1,1	<i>Euphytica</i>	1,5
<i>Avance Agroindustrial</i>	0,9	<i>Physiologia Plantarum</i>	1,5
<i>Campo y Tecnología</i>	0,9	<i>Archivos de Medicina Veterinaria</i>	1,3
<i>Cytologia</i>	0,9	<i>Arid Soil Research & Rehabilitation</i>	1,3
<i>Helia</i>	0,9	<i>Journal of Plant Nutrition</i>	1,3
<i>Investigación Agraria (sanidad animal)</i>	0,9	<i>Plant Physiology</i>	1,3
<i>Revista de la FAGR, UNLPampa</i>	0,9	<i>Weed Science</i>	1,3
		<i>Agrochimica</i>	1,0
		<i>Forest Ecology & Management</i>	1,0
		<i>Journal of Experimental Botany</i>	1,0
		<i>Oecologia</i>	1,0
		<i>Plant & Soil</i>	1,0
		<i>Seed Science Research</i>	1,0

Tabla 2. Revistas periódicas más utilizadas por investigadores de las instituciones centrales de investigación agronómica en el período 1996-1998. Las columnas de porcentaje indican la proporción de artículos publicados en cada revista con respecto al total en su categoría de publicaciones (indexadas y no indexadas). Excluyen revistas con menos de 0,9% de los trabajos.

similar sucede en las otras facultades comparativamente eficientes. En la UNSur, aproximadamente el 70% de la producción indexada corresponde al CERZOS. En la UNLP, casi la totalidad de la producción indexada es producida por el CIGEBA, el IFFIVE y dos grupos de fitopatología y cerealicultura. En la UNNoreste, el IBONE es responsable de más del 90% de los trabajos indexados. Finalmente, en la UNMDP, la mayor parte de la producción indexada está concentrada en tres grupos, los de ecofisiología de cultivos, biología molecular y nutrición animal.

El gasto en investigación agronómica con relación al producto bruto interno agropecuario es semejante al gasto en investigación en todas las disciplinas con relación al producto bruto interno global: en ambos casos alcanza el 0,5%. Esta proporción está muy por debajo de la que se observa en países desarrollados (Canadá, 1,5%; Estados Unidos, 2,7%), y también es inferior a la media de la observada en los países iberoamericanos. Ello indica que la investigación agropecuaria argentina recibe pocos recursos, lo mismo que el resto de la investigación nacional, y que necesitaría crecer el 30% para hacerse comparable, en términos de inversión, con la de otros países de Iberoamérica.

En el sistema científico argentino se gastan 285.000 pesos por trabajo indexado, lo cual indicaría que las instituciones agronómicas (680.000 pesos por trabajo indexado)

tienen una producción científica más cara, ya sea por la naturaleza de la actividad o porque son menos eficientes. El gasto por trabajo indexado en el conjunto de las ciencias es muy variable entre países. En los Estados Unidos se gasta cerca de un millón de dólares por trabajo, mientras que en España la cifra es algo más de 200.000. Es probable que, en parte, esas diferencias se deban a los métodos

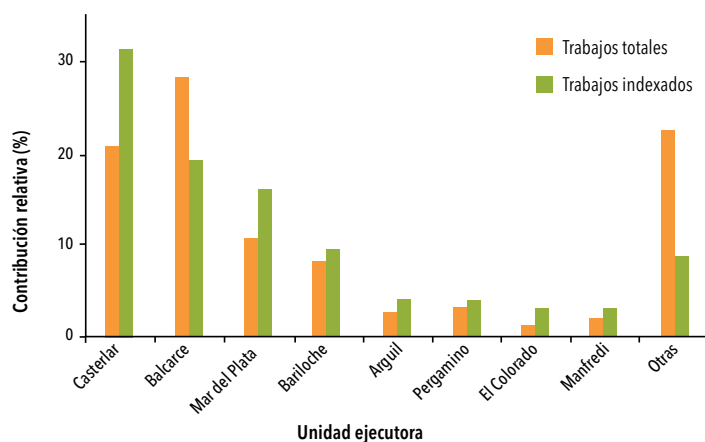


Figura 6. Contribución de las unidades ejecutoras del INTA al número de trabajos publicados por esa entidad entre 1996 y 1998. Total de trabajos publicados por esas unidades en tres años: 246 (82 por año en promedio); trabajos indexados por el ISI publicados en tres años: 93 (31 por año en promedio). En Otras se incluyeron las estaciones experimentales en las que se originó menos del 1,1% de los trabajos indexados.

Subdisciplina	Todas las instituciones		Instituciones centrales	
	Trabajos totales	Trabajos indexados	Trabajos totales	Trabajos indexados
Ecología, fisiología, bioquímica y biología molecular vegetal	19,2	26,0	18,4	28,5
Sanidad vegetal	20,3	15,5	17,5	13,6
Producción vegetal	18,0	14,3	24,4	21,4
Ecología, fisiología, bioquímica y biología molecular animal	9,2	11,1	5,7	5,7
Genética y mejoramiento vegetal	8,4	8,4	11,9	14,3
Tecnología de fibra y alimentos	5,0	7,8	1,2	0,8
Ciencias del suelo	8,3	7,4	11,5	9,6
Producción animal	3,7	2,0	2,3	0,8
Impacto ambiental	1,4	2,0	1,1	1,3
Genética y mejoramiento animal	1,8	1,8	1,3	1,7
Clima y ambiente	1,0	0,9	1,3	1,0
Equipamiento y maquinaria agrícola	0,9	0,4	1,3	0,2
Economía agraria	0,9	0,4	1,2	0,4
Otras	1,8	2,1	1,0	0,6

Tabla 3. Distribución porcentual por subdisciplina de los trabajos publicados por investigadores argentinos en ciencias agropecuarias entre 1996 y 1998. La clasificación disciplinaria fue realizada por los autores a partir de las mucho más específicas de las bases de datos de origen (CABI o AGRIS).

de cálculo usados y a la disponibilidad de información. Nuestro análisis muestra algunos componentes de esa disparidad: muchas facultades de agronomía y estaciones experimentales producen menos de un trabajo indexado por

año, la producción de trabajos indexados por equivalente full-time es menor a 0,1 para la mayoría de las instituciones y el dinero promedio para funcionamiento con que cuenta cada investigador, descontado su salario, es muy bajo.

INVERSIÓN EN INVESTIGACIÓN POR EL INTA Y LAS UNIVERSIDADES

Como la mayor parte del presupuesto de estas instituciones se aplica a salarios, la mayor dificultad para estimar lo que asignan a investigación reside en determinar qué porcentaje de su gasto en personal remuneraría esa clase de tareas. En las universidades nacionales, la dedicación de los docentes cae en alguna de tres categorías: dedicación exclusiva (40 horas/semana), de tiempo completo (20 horas/semana) y parcial (12 horas/semana). Por lo general, las tres categorías tienen los mismos requisitos de tiempo asignado a la docencia (aquí tomamos 12 horas/semana). A partir del número total de docentes en cada régimen de dedicación, puede concluirse que el 56% de lo gastado en salarios académicos remunera su actividad en investigación, como lo indica la tabla. Este razonamiento supone que otras actividades realizadas por los docentes (administración, gestión, extensión) les toman un tiempo proporcional al que les insumen la docencia y la investigación. Trasladar ese 56% al presupuesto global supone además

que los gastos en personal no docente y de funcionamiento se asignan en forma proporcional a la docencia y la investigación.

Para el INTA, no se tienen datos tan detallados como para realizar una discriminación similar entre el personal de investigación y el de extensión. Un análisis preliminar, realizado consultando las páginas de internet de siete estaciones experimentales (una por región) indicó que 43% del personal profesional es denominado 'extensionista'. El resto, o el 57%, se puede considerar investigador, aunque también se espera que realice extensión. Suponiendo que los tiempos de trabajo se asignaran a ambas actividades en la misma proporción que un académico full-time en la universidad divide el suyo entre docencia e investigación (70% a investigación, 30% a extensión), el 40% de los salarios del INTA estaría destinado a investigación y el 60% a extensión (ello presume que los salarios administrativos y de mantenimiento se asignan en la misma proporción).

Gastos de las facultades de agronomía de universidades nacionales en la investigación realizada por sus docentes

Categoría de dedicación	Número de docentes	Nivel salarial relativo	Relación entre salarios totales	Relación entre salarios para investigación
Exclusiva	1463	1,0	1463,0	1024,1
Completa	1075	0,3	322,5	64,5
Simple	1577	0,1	157,7	--
TOTAL	4115		1943,2	1088,6

Hemos llamado a esto ‘componentes’ y no ‘causas’ porque las relaciones de causalidad no son claras y porque la generalidad del patrón entre países y disciplinas sugiere que puede ser una condición inherente a la actividad.

De lo anterior se deduce que, para aumentar la producción, la política científica puede optar por incrementar los recursos asignados a la actividad o por elevar la eficiencia. Los aproximadamente 30 millones de pesos adicionales que el sistema necesitaría para contar proporcionalmente con los recursos de que disponen los países latinoamericanos que más invierten en investigación resultarían en aproximadamente 50 trabajos indexados más por año, si el sistema conservara la eficiencia actual. Pero un resultado similar se obtendría gastando 200.000 pesos menos por trabajo. Si se logaran ambas modificaciones, la producción del sistema aumentaría 80%.

Conclusiones

El análisis realizado hasta acá descansa sobre una serie de supuestos que hemos tratado de hacer explícitos y, posiblemente, sobre otros implícitos que no hemos advertido. Los artículos publicados como medida de la producción científica y tecnológica, y la indexación por el ISI como medida de su calidad, constituyen indicadores imperfectos pero, aun así, útiles. La selección de las bases de datos a utilizar ocasiona algunas deformaciones. Los datos institucionales que consignan los autores de trabajos (a los que ni estos ni las entidades en que se desempeñan parecen prestar mucha atención) suelen contener errores, lo mismo que las estimaciones de recursos económicos y humanos. Por ende, nuestro análisis e interpretaciones son una primera aproximación sujeta a correcciones por parte del lector interesado. Para beneficio de este, hemos tratado de consignar de la manera más clara posible las bases de nuestros razonamientos y conclusiones. Con estas restricciones, la evaluación realizada proporciona fuertes fundamentos para sostener que:

- Más del 50% de los trabajos académicos en ciencias agropecuarias realizados en la Argentina se publican en revistas no indexadas, es decir, de poco peso relativo en la comunidad internacional de la disciplina. Es probable que una parte de ellos sea intrascendente por la escasa

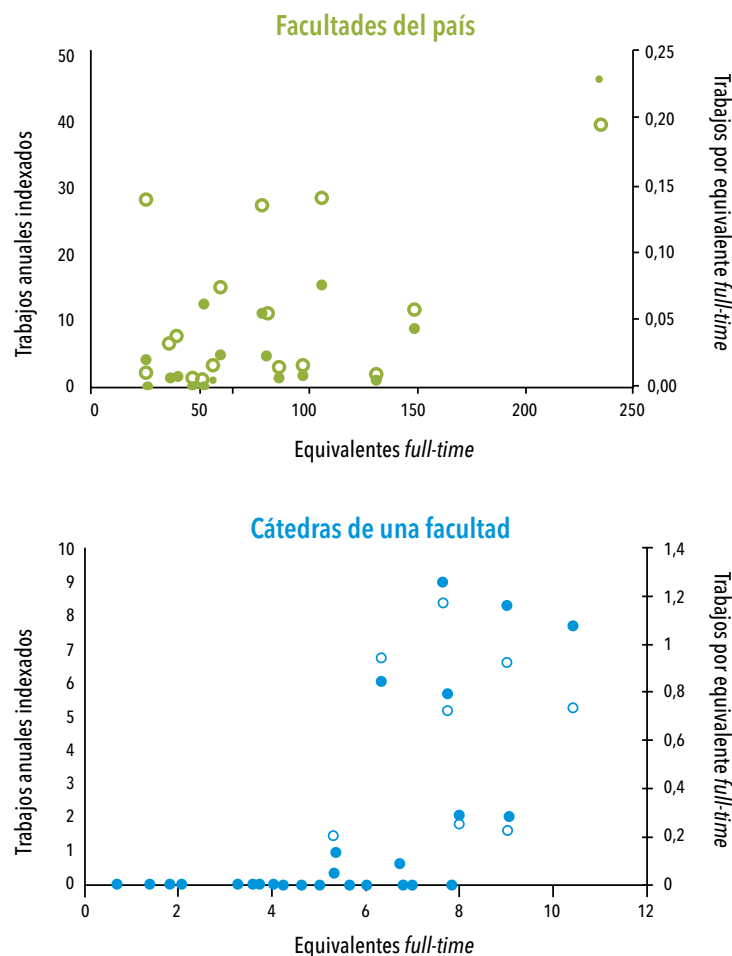


Figura 7. Arriba: producción anual de trabajos indexados (círculos llenos) y eficiencia de producción por equivalente *full-time* (círculos vacíos) de las facultades de agronomía en función de su dotación de equivalentes *full-time*. Abajo: producción anual de trabajos indexados (círculos llenos) y eficiencia de producción por equivalente *full-time* (círculos vacíos) de las cátedras de la FAUBA en función de su dotación de equivalentes *full-time*. Por equivalente *full-time* se entiende 28/40 de los docentes con dedicación exclusiva más 8/20 de los docentes con dedicación semiexclusiva.

relevancia de los problemas abordados o por deficiencias metodológicas. Pero muchos contienen resultados significativos para el medio local. De aquí se deduce que sería necesario que (i) los sistemas de arbitraje de las revistas nacionales más utilizadas sean de buena calidad, ya que por ellos pasa una parte considerable del producto de la investigación, y (ii) se reduzca la cantidad de trabajos que aparecen en revistas extranjeras no indexadas

RUBRO	INTA	UNIVERSIDADES	CONICET	ANPCYT	TOTAL
Salarios	84,9	80,0	5,1	-	170,0
Gastos de funcionamiento	17,4	6,0	0,3	-	23,7
Subsidios	1,7	3,0	0,2	9,8	14,7
Administración central	-	2,9	0,5	-	3,4
TOTAL	104,0	91,9	6,1	9,8	211,8

Tabla 4. Presupuesto anual (2001) de las instituciones vinculadas con la investigación agropecuaria, en millones de pesos.

y de baja circulación, porque son de difícil acceso para la comunidad potencialmente interesada. Ambas iniciativas apuntan a tener menos revistas nacionales (que podrían resultar de fusiones de las existentes), más importantes en amplitud temática, con mayor circulación y, sobre todo, con un estricto control de calidad.

- La mitad de la producción argentina en ciencias agropecuarias proviene de instituciones académicas periféricas a la agronomía.
- Hay una altísima heterogeneidad entre y dentro de las instituciones en cuanto a nivel de producción y eficiencia. La producción de mayor calidad, publicada en revistas indexadas, está fuertemente concentrada en unos pocos grupos exitosos, albergados, a su vez, en unas pocas instituciones exitosas. Estas han sido, con frecuencia, el resultado de asociaciones de la universidad con el Conicet y por lo común realizan intensa tarea de educación de posgrado. La influencia de esos grupos sobre el conjunto del sistema es muy grande. Por ello sería importante estudiar cómo se formaron y cómo se mantienen, para favorecer procesos similares.
- El espectro disciplinario de la producción de mayor calidad en las ciencias agropecuarias argentinas refleja en mucha medida la historia de dichos grupos exitosos, los cuales demostraron una marcada propensión hacia las ciencias vegetales básicas. En términos relativos a Australia, para dar un ejemplo, el sistema argentino no produce suficiente investigación de calidad en áreas relacionadas con la biología y producción animales y con la sanidad vegetal.

- El sistema parece estar limitado tanto por la cantidad de recursos financieros que recibe como por la eficiencia de su uso. Ellos no guardan una buena relación con el producto bruto del sistema agropecuario, en comparación con países desarrollados o con vecinos como el Brasil, y la producción por investigador es baja. **CH**

La información utilizada en este trabajo se obtuvo principalmente de: Ministerio de Cultura y Educación, Secretaría de Políticas Universitarias, 1995, Estadísticas básicas de las universidades nacionales; Ministerio de Cultura y Educación, Secretaría de Ciencia y Tecnología, 1999, La investigación científica y tecnológica en Argentina. Diagnóstico e identificación de áreas de vacancia; Oficina de Industria y Economía de Australia, 1996, Australian science. Performance from published papers, Australian Government Publishing Service, Canberra, y Red de indicadores de ciencia y tecnología iberoamericana, en www.riicyt.org. María Dolores Cárcova, Hernán Trebino y Bettina Lythgoe colaboraron en la obtención de datos. Rodolfo Sánchez aportó valiosas sugerencias en distintas instancias de la labor.

LECTURAS SUGERIDAS

- BAKER B**, 2000, 'Assessing the quality of the US Department of Agriculture's Science', *BioScience*, 50: 860.
- BLAKE R, FERERES E, HENZELLT y POWELLW**, 2002, 'Las ciencias agropecuarias en la Argentina', *CIENCIA HOY*, 70: 31-51.
- MAY RM**, 1997, 'The scientific wealth of nations', *Science*, 275: 793-796.
- QUESADA ALLUÉ LA & GITLIN DS**, 1995, 'Scientific output in Argentina 1966-1983', *Scientometrics*, 34: 27-35.

Sitios web de interés

www.cienciahoy.org.ar	Revista CIENCIA HOY
www.mincyt.gob.ar	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
www.conicet.gov.ar	Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas
www.mincyt.gob.ar	Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva
www.inta.gob.ar	Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria
www.anav.org.ar	Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria
www.aacrea.org.ar	Asociación de Empresarios Agropecuarios
www.aapresid.org.ar	Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa
www.fonaf.org.ar	Federación de Organizaciones Nucleadas de la Agricultura Familiar
viacampesina.org	Vía Campesina
www.fao.org	Food and Agriculture Organization of the United Nations
www.iica.int	Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura
www.usda.gov	United States Department of Agriculture



