

Diego O Ferraro y Florencia Rositano

Facultad de Agronomía, UBA

Conocimiento e insumos en la agricultura moderna

Cuando los seres humanos obtienen comida, fibras o combustible de la naturaleza, como lo vienen haciendo desde la aparición de la especie en la Tierra, se están valiendo de la función productiva de los ecosistemas. A los fines de nuestro análisis, y sobre la base de la equivalencia de materia y energía, los mencionados productos de la naturaleza

pueden concebirse como porciones de energía. En estos términos, un ecosistema es una red de flujos de energía, con una estructura formada por plantas, animales y microorganismos.

Los ecosistemas están compuestos por organismos que absorben, transforman y transfieren energía y compuestos químicos. La fuente energética inicial para

¿DE QUÉ SE TRATA?

La agricultura consiste en la creación de ecosistemas culturales, que se superponen o combinan con los naturales. En esos *agroecosistemas* sigue operando la dinámica de la naturaleza, alterada por los *insumos* que introduce el agricultor, principalmente especies vegetales mejoradas —por el camino tradicional o por ingeniería genética—, fertilizantes y plaguicidas. El factor crucial para lograr un producto económicamente ventajoso con esos ingredientes es el *conocimiento*.

Campo sembrado con soja. Las plantas están en un estado temprano de crecimiento, antes de la formación de las chauchas que contienen los porotos. Foto Agência Brasil





todos los ecosistemas es el Sol. La energía solar incidente es captada parcialmente por las plantas verdes, lo que les permite incorporar carbono del CO₂ atmosférico para generar sus tejidos, que son consumidos como forraje por los herbívoros. El itinerario de la energía del Sol a las plantas y de estas a los herbívoros pasa luego a los carnívoros para los que los últimos son presas, y finalmente como materia muerta de cualquiera de los nombrados a los descomponedores. La complejidad del ecosistema está asociada tanto con el nivel de energía como con el número de especies que lo conforman, que a su vez dependen de las restricciones físicas que les imponen factores ambientales como suelo y clima.

La composición de especies de un ecosistema determina las interacciones que tienen lugar entre ellas, las que, con el tiempo, tienden a estabilizar la red de flujos de energía. Cuando esa red resulta modificada por acción humana, la cantidad de especies tiende a

disminuir, es decir, acontece una simplificación de la estructura del ecosistema, lo cual lo vuelve más inestable porque se pierden controles internos que lo preservan. En esas circunstancias, la única forma de recuperar su funcionalidad es proveerle energía externa que reemplace las funciones internas afectadas por la pérdida de especies.

La agricultura es la causa humana de alteración de los ecosistemas naturales más extendida en el espacio y en el tiempo. Es, esencialmente, un proceso de conversión de energía, por el que los ecosistemas reciben energía fósil y química externa a ellos para que puedan proporcionar las fibras y los alimentos que sostienen la población humana. Este es el proceso que llamamos *uso productivo de los ecosistemas*. Fue evolucionando con el tiempo en la dirección de un aumento de su dependencia del ingreso externo de energía.

■ NIVELES DE RENDIMIENTO DE LOS CULTIVOS ■

Se habla de niveles de producción de un cultivo de granos para referirse a su rendimiento, o cantidad de producción por unidad de superficie. Se distinguen tres niveles de producción, a saber, el rendimiento posible o potencial, el rendimiento alcanzable y el rendimiento logrado. Ellos dependen respectivamente, a su vez, de tres factores de crecimiento: factores definitorios, factores limitantes y factores reductores, como lo indica el esquema.

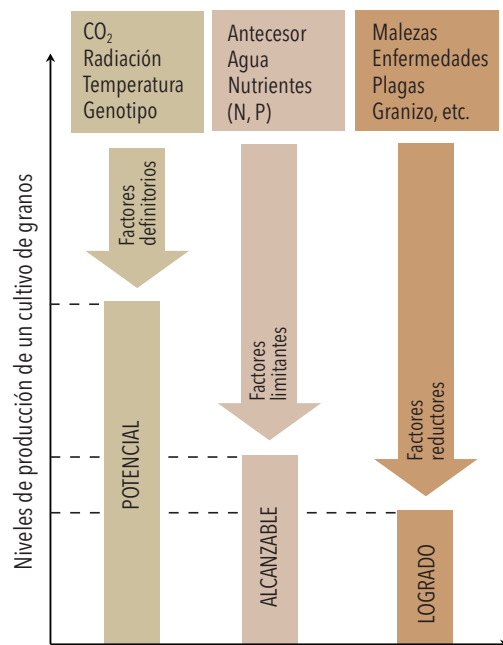
El *rendimiento potencial* es aquel que se obtiene en condiciones óptimas y en ausencia de adversidades o *estreses* de índole biótica y abiótica. Los *factores definitorios* de ese nivel de rendimiento son las características fisiológicas y los ciclos anuales (o características fenológicas) de la planta, relacionados con la temperatura y la radiación solar, que a su vez dependen de la latitud y la estación del año.

El *rendimiento alcanzable* es aquel cuyos *factores limitantes* son los recursos abióticos esenciales, como el agua y los nutrientes. Una provisión insuficiente de esos recursos es la causa principal de rendimientos inferiores al potencial.

El *rendimiento logrado* depende no solo de los suministros de agua y nutrientes sino, también, de que el cultivo esté protegido de los *factores reductores* o, en todo caso, de que escape de sus efectos. Estos últimos factores entorpecen el crecimiento de las plantas y pueden ser de índole biótica, como malezas, enfermedades y plagas, o de índole abiótica, como contaminantes o inclemencias climáticas (por ejemplo, viento o granizo).

Quienes toman decisiones acerca de sistemas agrícolas pueden influir mediante diversas prácticas de manejo sobre los factores de crecimiento y, en consecuencia, sobre los niveles de rendimiento o producción. El nivel de rendimiento logrado puede convertirse en el rendimiento alcanzable con medidas de protección como el control de malezas, plagas y enfermedades, mientras que el rendimiento alcanzable puede convertirse en el potencial con medidas que eliminen estreses bióticos y abióticos, y mejoren los factores definitorios.

Si bien las últimas medidas apuntan a prestaciones difícilmente sustituibles, como el agua o los nutrientes, pueden ser provistas artificialmente, es decir, por medio de insumos externos. Entre estos se cuentan el riego y la fertilización. Además, para una localidad y un cultivar dados, el rendimiento potencial puede ser mejorado de manera indirecta por el mejoramiento genético, o por prácticas de manejo como la fecha y la densidad de siembra.



Agricultura e insumos

El manejo de los sistemas modernos de producción agrícola contempla no solo obtener el máximo rendimiento de los cultivos sino, también, hacer mínimos sus costos económicos, ambientales y sociales. Las prácticas agrícolas procuran canalizar la mayor cantidad de recursos a la especie de interés económico, que es la especie cultivada o cultivar. El objetivo central es que el órgano que se cosecha (por ejemplo, las espigas de trigo) sea el principal beneficiario de las prácticas agrícolas. En ese contexto, se puede entender por qué la agricultura reduce la diversidad vegetal del sistema natural para obtener una comunidad dominada por un solo componente, el cultivar.

Además, se mejora el estado nutricional de ese componente dominante mediante fertilizantes y se lo protege de la acción de agentes patógenos, depredadores y de la competencia de otras plantas. La manera moderna de ejercer dicha protección es usar compuestos químicos diversos, como herbicidas, insecticidas o fungicidas, para reducir al mínimo los componentes no rentables del agroecosistema, entre ellos, las malezas, las plagas y las enfermedades. Si bien su utilización es cada vez más necesaria en los sistemas agrarios actuales, su mero uso no es suficiente para lograr los rendimientos máximos de las cosechas.

Agronomía moderna: conocimiento e insumos

En la agricultura actual, el uso de fertilizantes y plaguicidas solo puede traer los beneficios que se esperan si se basa en un adecuado conocimiento de la interacción entre el cultivo y el ambiente. Para ser más específicos, cada uno de los cultivos, con las variaciones que les impone su estructura genética o genotipo, responde al ambiente de manera diferente. Esa diferente respuesta es la causa de que varíen la cantidad y la calidad de los productos obtenidos, es decir, el rendimiento y la composición química de la cosecha. Así, comprender la interacción entre el genotipo del cultivar y el ambiente en que se realiza el cultivo es la base de la agronomía, entendida esta como el conjunto de técnicas por las que se controla y procura hacer máxima la productividad de un agroecosistema. Si bien esas técnicas muchas veces resultaron de la prueba y el error, es decir, son de carácter empírico, el avance de la agronomía está basado mayormente en la comprensión de las bases y los mecanismos que explican el diferente comportamiento de las variedades cultivadas en distintos ambientes.

Gran parte de la comprensión de dichas interacciones de los genotipos con el ambiente está asociada con

la de los factores que controlan el desarrollo de los cultivos. La secuencia de los estados vegetativo y reproductivo de un cultivar resulta afectada por la duración del día, la temperatura, la presencia de agua y de nutrientes, y la radiación solar, entre otros factores que tienen su efecto más marcado en la etapa en que se acumula materia seca.

Para alcanzar procesos agronómicos óptimos, se procura adecuar la oferta ambiental de cada lugar particular a la diferente sensibilidad de cada especie o genotipo sembrado. En este sentido, es importante concebir el uso de plaguicidas o de cualquier otro insumo externo como un complemento del sistema, ya que tiene como objetivo final ayudar a que este proceso de interacción cultivo-ambiente sea más eficaz.

El reconocimiento de la importancia de los insumos externos como herramientas de manejo agrícola, así como su carácter de complemento de los procesos naturales, explica el papel central que desempeñan el conocimiento y las decisiones agronómicas relacionadas con él.

Las decisiones de manejo de los sistemas agrícolas

La producción agrícola se puede describir como un conjunto de decisiones orientadas a obtener las mejores cosechas posibles de plantas con determinado genotipo, cultivadas en un determinado ambiente. El ensamblaje de esas decisiones es un proceso dinámico a lo largo del tiempo, que entre otras cosas incluye establecer la cantidad y el momento de aplicación de plaguicidas y fertilizantes.

Dichas decisiones pueden ordenarse jerárquicamente a partir de los conceptos de rendimiento potencial,



Porotos de soja verdes. Los cultivos de soja son los principales destinatarios del herbicida glifosato.



INSUMOS INTERNOS DE LOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

La viabilidad de la agricultura se basa en que las decisiones de manejo hagan buen uso de los flujos de energía internos de los ecosistemas. Se llama *insumos internos* a las respuestas a los requerimientos de los cultivos obtenidas por su armonización en el espacio y en el tiempo con los procesos del ecosistema.

Por ejemplo, la decisión de la fecha de siembra de un cultivo determina la cantidad de agua y nutrientes que podrá recibir en función de los ciclos naturales de precipitación y de descomposición de materia orgánica. El momento de siembra también coloca al cultivo en situación más o menos favorable para competir con las malezas por los recursos del ambiente.

Pero los esfuerzos que se realizan a favor de los cultivos representan costos para el resto del ecosistema en cuanto a la disponibilidad de energía y a la diversidad biológica. Ello, a menudo, afecta negativamente a servicios del ecosistema que serían abundantes en ausencia de esos esfuerzos.

Los *servicios de los ecosistemas* se definen como los procesos mediante los cuales los ecosistemas naturales sostienen la vida humana y satisfacen sus necesidades. Los ciclos de materia y energía, la provisión y purificación del agua, la polinización de plantas naturales y cultivadas, la regulación climática y la mitigación de adversidades bióticas son ejemplos de servicios de los ecosistemas. Simplificando, el nombre se aplica tanto a los alimentos, las fibras o las maderas como a los procesos nombrados.

Particularmente relevantes para la agricultura son el mantenimiento de la diversidad genética, el ciclo de los nutrientes, el control biológico de plagas y enfermedades, el control de la erosión del suelo, la retención de sedimentos y la regulación del agua. Así, una buena manera de conseguir sistemas agrícolas sustentables es la utilización de los servicios de los ecosistemas no solo para aumentar la productividad sino, también, para sustituir importantes insumos externos, como plaguicidas y fertilizantes. Las acciones de los productores agrícolas pueden aumentar o disminuir la provisión de esos servicios; por ello, es importante comprender cómo toman sus decisiones de producción y llevan a cabo la gestión de la tierra.



alcanzable y logrado de un cultivo, que se explican en el recuadro 'Niveles de rendimiento de los cultivos'. Así, los plaguicidas –término usado aquí en sentido amplio– condicionan el rendimiento final, el cual, a su vez, depende de decisiones previas que determinan los rendimientos potenciales. En otras palabras, existe fuerte relación entre el uso de insumos externos y la obtención de elevados rendimientos. Y esos rendimientos están íntimamente relacionados con los ajustes entre los requerimientos del genotipo y las características del ambiente.

El desafío que se plantea a quien toma decisiones de manejo de sistemas agrícolas es lograr los máximos rendimientos con la mínima dependencia de insumos externos, debido a los posibles perjuicios ambientales y sociales de su utilización. Existen evidencias de que, en los últimos años, el mayor uso de plaguicidas y fertilizantes ayudó a elevar los rendimientos promedio de los cultivos en la Argentina a una tasa marcadamente mayor que en otros períodos. Sin embargo, no perdieron importancia las decisiones sobre fecha de siembra, densidad de esta (número de plantas sembradas por hectárea) o mejoras genéticas de los cultivares. En este contexto cabe preguntarse si es posible tener éxito en el mencionado desafío.

Porotos de soja maduros fuera de sus vainas.



Un ejemplo de dependencia de un insumo clave: el glifosato

En los últimos tiempos se ha discutido acerca de los riesgos del uso extensivo del glifosato para la salud humana y los restantes componentes del ecosistema. Esa clase de inquietudes sobre los riesgos ambientales asociados con productos agroquímicos no es nueva. La constatación de efectos negativos de algún compuesto sobre determinados componentes del medio ha llevado a serios debates sobre la sustentabilidad ambiental de la agricultura moderna y, en particular, sobre el uso de plaguicidas, al punto de haberse transformado en un tema relevante en la agenda de la investigación agronómica. Más aún, el posible riesgo de los plaguicidas ha llevado a los entes oficiales de control a incrementar los requisitos necesarios para la aprobación de su uso.

Pero más allá de los riesgos específicos del uso de algún plaguicida, el debate sobre la sustentabilidad ambiental de los sistemas agrícolas no puede reducirse a la utilización de algún producto particular, sino que debe ampliar su escala

y abarcar el conjunto de las decisiones de producción o, lo que es lo mismo, el uso general de la tierra.

El caso del glifosato, que se convirtió en un insumo importante para el cultivo de soja (pero no solo de esta) proporciona un buen ejemplo de las posibilidades que proporciona el manejo agronómico para reducir la dependencia de insumos externos. El glifosato es un herbicida utilizado para controlar el crecimiento de un amplio espectro de malezas. El incremento explosivo de su utilización, tanto por unidad de superficie como en valores absolutos, no solo tiene una explicación económica; también tiene sentido agronómico.

La explicación económica es simple: a partir del momento en que el precio de los granos alcanzó niveles que justificaron su uso, el glifosato permitió generar un mayor margen de utilidad que los métodos anteriores, ventaja que se incrementó con la reducción de su costo provocada por la extensión de su empleo.

La explicación agronómica de la difusión del glifosato es un poco más compleja. Se basa en la aparición en el mercado de variedades de soja resistentes a sus efectos. Esas variedades o genotipos fueron el resultado



Siembra directa (arriba). El tractor remolca una sembradora que va depositando las semillas (contenidas en los cajones blancos) en unos pequeños surcos que abre la misma máquina en el terreno sin arar. La competencia de las malezas se combate con herbicidas. La tierra sin remover es menos susceptible de ser arrastrada por el viento o el agua, lo que favorece la conservación de los suelos.

Laboreo tradicional. El tractor arrastra un arado que da vuelta la capa superficial del suelo. Con eso se elimina la vegetación que podría competir con el cultivo por la humedad y los nutrientes del terreno. Una pasada de rastra termina de alisar la tierra antes de sembrar.



de la aplicación de técnicas de ingeniería genética orientadas a obtener dicha propiedad. Hoy esa modificación genética se ha logrado no solo para cultivos de soja sino, también, de maíz y algodón, entre otros cultivos.

La combinación de un herbicida de amplio espectro y de cultivos resistentes a su acción permitió simplificar notablemente el manejo del sistema agrícola. Entre otras cosas, hizo posible la eliminación del laboreo del suelo, una operación compleja que consiste en dar vuelta la capa superficial con un arado y nivelar la tierra con rastras, y reemplazarlo por la siembra directa, que consiste en depositar la semilla en el suelo sin realizar todo lo anterior.

Esto significa que el control de las malezas basado en el aprovechamiento de interacciones entre el cultivo y el ambiente, indicado al comienzo del artículo como elemento necesario para un manejo racional de un sistema agronómico, resulta reemplazado por el uso de un insumo externo.

Sin embargo, ese uso está también relacionado con otras decisiones, como la fecha y densidad de siembra, las cuales, tomadas correctamente, reducen significativamente la dependencia del insumo externo. Tal disminución se logra usando adecuadamente los insumos internos, como se explica en el recuadro 'Insumos internos de los sistemas agrícolas'.

Existen evidencias claras de que los cultivos pueden tolerar determinada densidad de malezas en algunos períodos de su ciclo de crecimiento, y que el rendimiento en granos no se ve afectado por ellas. Así, el conocimiento de la biología del cultivo y de las malezas es un camino que conduce a reducir el uso de herbicidas, au-

mentar los márgenes de beneficio económico y reducir tanto la presión sobre el ambiente como la dependencia del sistema de un insumo externo

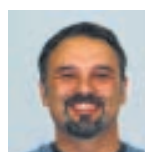
Conclusiones

Un análisis minucioso del funcionamiento de los sistemas agrícolas permite determinar y jerarquizar los factores que impiden la obtención de altos rendimientos. Muchas veces se trata de la escasez de un recurso de los llamados *limitantes*, cuyo aumento de disponibilidad incrementa la producción del sistema. Pero para obtener una buena respuesta al agregado de un recurso, el resto de los factores deben presentarse en sus valores óptimos. En términos prácticos, el control de plagas, el aumento de agua o el incremento de nutrientes serán efectivos para elevar la productividad si hay un buen ajuste entre oferta y demanda de servicios ambientales.

Lograr ese ajuste depende del conocimiento de los procesos internos del ecosistema y de tomar las decisiones agronómicas que resultan de él, de suerte que sea mínimo el uso de insumos externos. Por ese camino la agricultura actual podrá reducir su dependencia de los insumos externos y hacer un óptimo uso de ellos. La transferencia de conocimiento a los agricultores por parte de universidades, reparticiones oficiales u otras entidades es fundamental para la difusión de técnicas y prácticas adecuadas de manejo, basadas en la comprensión de la ecología más que en la aplicación de insumos externos, para elevar los rendimientos de los cultivos. **CH**

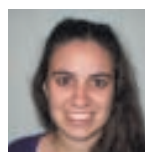
LECTURAS SUGERIDAS

DAILY GC *et al.*, 1997, 'Servicios de los ecosistemas: beneficios que la sociedad recibe de los ecosistemas naturales', *Tópicos en Ecología*, 2: 1-16.
 LOOMIS RS y CONNOR DJ, 2002, *Ecología de cultivos: productividad y manejo de sistemas agrarios*, Mundi Prensa Libros S.A.
 PIMENTEL D & PIMENTEL M, 2008, *Food, energy, and society*, CRC Press.
 VAN ITTERSUM MK & RABBINGE R, 1997, 'Concepts in ecology for analysis and quantification of agricultural input-output combinations', *Field Crops Research*, 52: 197-208.



Diego O Ferraro

Doctor en ciencias agropecuarias, UBA.
 Jefe de trabajos prácticos de cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA.
 Investigador adjunto del Conicet.
ferraro@agro.uba.ar



Florencia Rositano

Ingeniera agrónoma, Facultad de Agronomía, UBA.
 Ayudante de primera de cerealicultura, Facultad de Agronomía, UBA.
 Becaria doctoral del Conicet.
rositano@agro.uba.ar

