



Cultivo de soja de primera en el sur de Santa Fe, Argentina.

Emilio H Satorre

Facultad de Agronomía UBA, IFEVA (UBA-Conicet) y AACREA

Fernando H Andrade

INTA-Balcarce y UNMdP

Cambios productivos y tecnológicos de la agricultura extensiva argentina en los últimos quince años

Introducción

La agricultura extensiva argentina sufrió importantes cambios en los últimos cuarenta años. A comienzos de los años 80 comenzó un proceso de intensificación tecnológica y expansión del cultivo de soja que se consolidó en una verdadera revolución del agro en los albores del nuevo milenio. La soja había sido introducida a comienzos de los años 70 y por su expansión se convirtió en el cultivo de verano más importante desde la década de 1990. Desde aquel momento, la expansión de superficie y producción fue caracterizada por el predominio de variedades transgénicas resistentes a glifosato y por un conjunto de tecnologías de impacto en lo produc-

tivo y operativo, que favorecieron una transformación empresarial y del negocio agropecuario de granos. En la primera década del milenio la agricultura extensiva se identificaba con un reducido número de especies; de hecho los cultivos de soja, maíz, trigo y girasol ocuparon más del 95% del área sembrada, con el cultivo de soja alcanzando el 65% del área cultivada hacia 2009. Este escenario no se ha modificado significativamente. En los últimos quince años, la agricultura extensiva continuó identificada con estos pocos cultivos de granos. De hecho, los cultivos de soja, maíz y trigo ocuparon en el último trienio el 93% de las casi 35 millones de hectáreas sembradas, incluyendo el doble cultivo trigo/soja de segunda.

¿DE QUÉ SE TRATA?

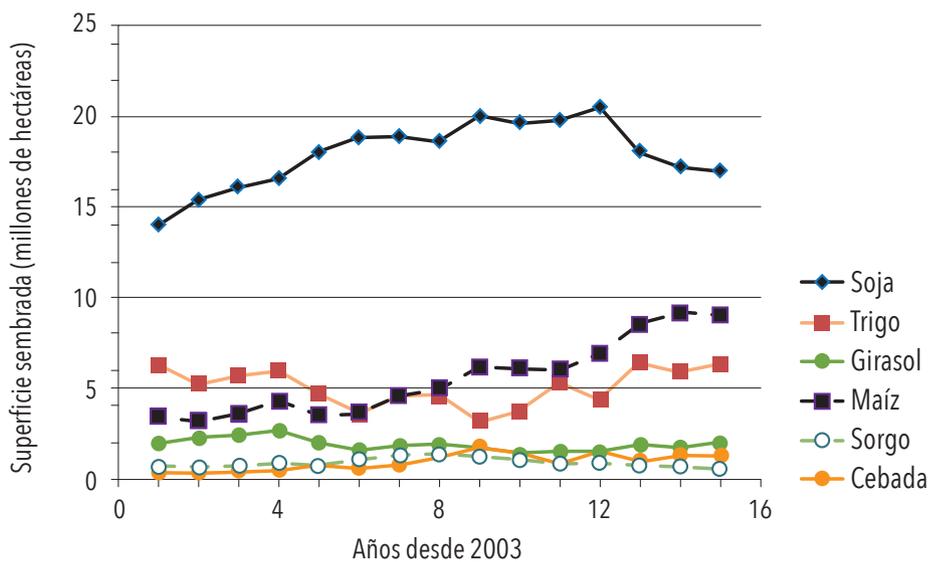
¿Qué pasó desde 2004 con la agricultura en Argentina? ¿Cuál es su futuro probable?

Cambios en la superficie cultivada

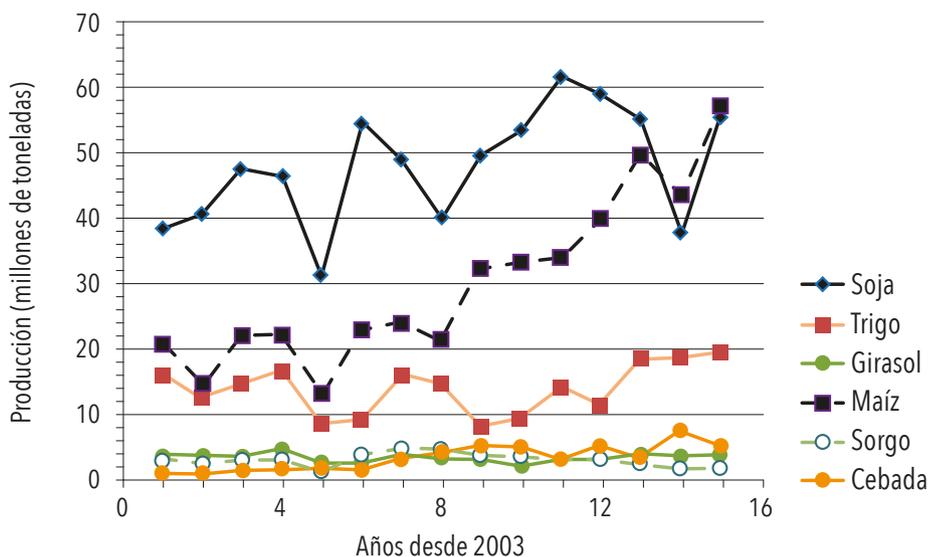
El ritmo de expansión agrícola sobre tierras arables tendió a reducirse en los últimos años, comparado con períodos anteriores. Sin embargo, la superficie sembrada continuó creciendo con una tasa constante cercana a 641.000 hectáreas por año debido al aumento de la superficie sembrada con maíz y a la intensificación del uso del suelo de la mano de la cebada y el trigo en doble cultivo con especies ‘de segunda’ –soja, y en menor medida maíz– sobre los rastrojos de estos cereales de invierno. Asimismo, la superficie sembrada con el cultivo de soja tendió a incrementarse en el período, aunque disminuyó en los últimos años. Cerca del 25-35% de la superficie de soja fue sembrada sobre cultivos de invierno en los últimos quince años. Este resultado contrasta marca-

En los últimos 15 años se revirtió la dominancia del cultivo de soja del 65 al 50% del área sembrada y se intensificó el uso de la tierra mediante la siembra de más de un cultivo por año en la misma superficie.

damente con lo ocurrido desde principios de los años 90 cuando la proporción de cultivo de segunda era baja con relación al total de soja sembrada. El cambio acompañó el crecimiento del área sembrada con cebada en el sur de la provincia de Buenos Aires, favorecido por su cosecha anticipada, y la mayor estabilidad de los resultados económicos logrados con el doble cultivo. En resumen, hubo un cambio significativo en el área en la segunda mitad del período y en la distribución geográfica de los cultivos de invierno en la región pampeana que favoreció la participación de siembras de segunda sosteniendo gran parte del incremento de la superficie sembrada. Entre los signos del período se destacan la reversión parcial de la dominancia del cultivo de soja, reduciendo su participación del 65 al 50% del área sembrada, y la intensificación en el uso de la tierra de la agricultura extensiva, median-



Evolución del área sembrada (Mhas) de los principales cultivos extensivos de granos en el período 2004-2018 en la Argentina. Elaboración propia basada en datos de SIIA, Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.



Evolución de la producción (Mtn) de los principales cultivos extensivos de granos en el período 2004-2018 en la Argentina. Elaboración propia basada en datos de SIIA, Ministerio de Ganadería, Agricultura y pesca.

te la siembra de más de un cultivo por año en la misma superficie. El cultivo de maíz fue el que capturó la mayor proporción de la participación en área de siembra cedida por el cultivo de soja de primera. La notable evolución de la superficie sembrada fue en parte motorizada por la intensificación de la ganadería, actividad en creciente integración con la agricultura extensiva a escala local. Esto está representado por el alto porcentaje de los establecimientos agropecuarios que cultivan maíz que no lo comercializan en su totalidad o no lo entregan a acopio, según los resultados del último Censo Agropecuario.

Cambios en la producción total

La producción total de granos aumentó significativamente alcanzando las 129 millones de toneladas (Mtn) (promedio 2017-2019). La tasa de crecimiento de la producción total de granos alcanzó 4,17Mtn por año signada por la mayor participación del cultivo de maíz en el escenario agrícola. De hecho, el aumento de la producción de maíz alcanzó una tasa promedio de 2,61Mtn/año, constituyéndose en un fuerte modulador del escenario agrícola. Esta tendencia se fortaleció en el último período con la liberación de las retenciones al cultivo aunque se inicia antes con la expansión de las producciones intensivas de cerdos, aves y bovinos. De los restantes cultivos extensivos solo los cultivos de soja y cebada aportaron incrementos significativos en la producción de granos en el período con un ritmo de 0,99 y 0,38Mtn/año, respectivamente.

Cambios en el rendimiento

El rendimiento unitario (kg/ha) promedio a nivel nacional de los cultivos extensivos ha mostrado cambios po-

co significativos. Esto puede deberse tanto a la variabilidad de las condiciones climáticas (2004-2018) como al cambio en los sistemas de cultivo de alguna de las especies; particularmente, al aumento de superficie del doble cultivo de soja y de la sembrada con cultivo tardío de maíz, ambos frecuentemente de menor rendimiento. De hecho, los cultivos de soja, maíz y sorgo no han mostrado incrementos consistentes de la productividad. Contrariamente, los cultivos de girasol, trigo y cebada han tenido un incremento leve pero significativo que alcanzó los 33, 47 y 59kg/ha año respectivamente. Esta mejora de rendimiento podría asociarse con el aumento del uso de fertilizantes y con la rápida adopción de genética de alto rendimiento. Por su parte, en muchas regiones, la amplia adopción de genética tolerante a herbicidas contribuyó a potenciar el uso de tecnología en el cultivo de girasol y a mejorar su rendimiento.

Aspectos clave de un escenario en transformación

El manejo agronómico y la mejora genética de los cultivos extensivos

El cultivo de maíz fue un actor clave del período y puso en evidencia la valiosa contribución de la investigación científica en el logro de resultados tangibles. En especial, los conocimientos obtenidos en el campo de la ecofisiología del cultivo, de la mano de destacados investigadores argentinos, y los debidos al mejoramiento genético contribuyeron a alcanzar estándares de productividad y estabilidad que eran impensados treinta años antes en la agricultura extensiva de **secano**.

El rendimiento del cultivo de maíz temprano, frecuente en el área pampeana, era muy variable como resultado de las condiciones a las que quedaba expuesto durante

	Soja	Maíz	Girasol	Sorgo	Trigo	Cebada
Rendimiento (kg/ha)	2745	6836	1847	4508	2851	3533
Desvío estándar (kg/ha)	390	792	257	405	387	463
Coefficiente de variación (%)	14	12	14	9	14	13
Tasa de incremento (kg/ha año)	27	42	33	-36	47	59
Significancia de la tasa de incremento	ns	ns	<0,05	ns	<0,05	<0,05

Rendimiento medio nacional y su variabilidad expresada a través del desvío estándar y el coeficiente de variación de los cultivos de granos en el período 2004-2018. Se incluye además la tasa de incremento del rendimiento con su significancia estadística (ns: no significativo; es decir, la pendiente no es distinta de cero).



Ensilado de maíz para consumo ganadero.

su estación de crecimiento. El cultivo de maíz tardío, en cambio, exploró condiciones que atenuaban el impacto de las deficiencias hídricas, aunque lo sometían a otros desafíos, como inferiores niveles de radiación y temperatura en la posfloración, menores tasas de secado de grano y mayor presión del ambiente biótico. A esto se agrega que debe enfrentar malezas, plagas y enfermedades que difieren sensiblemente de aquellas de siembra temprana. A pesar de esta combinación de factores, el maíz tardío produjo un gran impacto permitiendo, en muchos casos, mayor productividad que la soja y mejores rendimientos que el maíz temprano bajo condiciones de secano en los peores ambientes y suelos.

Junto con el cambio en la fecha de siembra, reducir la densidad de plantas contribuyó a incrementar la producción y la estabilidad de los rendimientos en zonas marginales ya que ayudó a aumentar la cantidad de recursos por planta en los momentos críticos, alrededor de la floración. Estas prácticas permitieron reducir el impacto de los principales factores limitantes del rendimiento y expandir su participación en ambientes antes considerados marginales. Mientras tanto, los planteos de siembra temprana con altas densidades de plantas se consolidaron en los ambientes de alto potencial. El maíz tardío permitió una mejor rotación de cultivos en ambientes frágiles que estaban dominados por cultivos de bajo volumen de rastrojo (soja o girasol), con escasa participación de especies gramíneas.

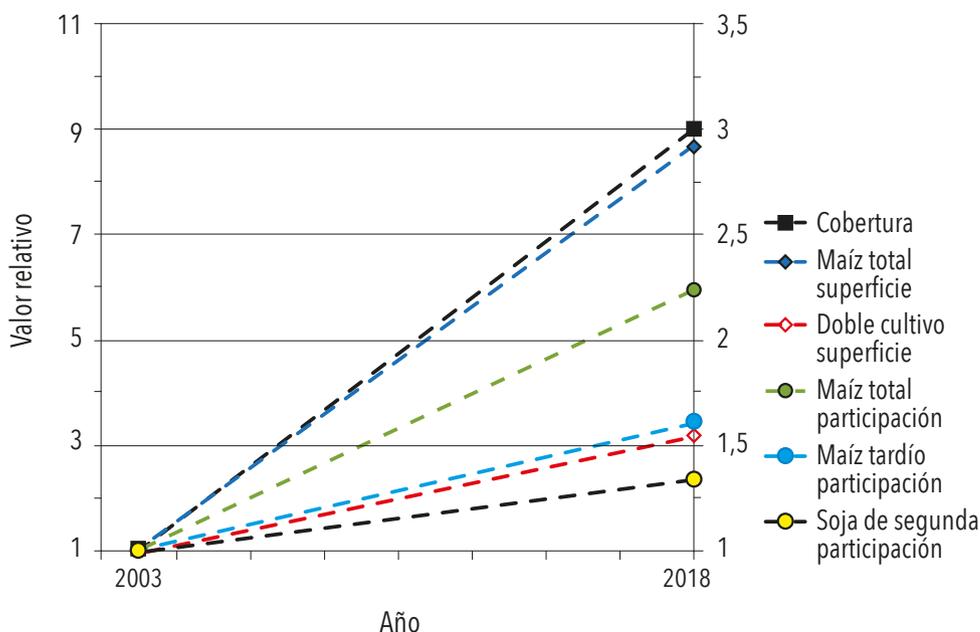
Las mejoras genéticas incluyeron el aumento del potencial de rendimiento y su estabilidad ante estrés abiótico y la tolerancia a adversidades bióticas. Para mejorar el control de malezas se incorporaron genes de tolerancia a herbicidas; para el control de plagas, se liberaron al mercado nuevos híbridos caracterizados por el apilamiento múlti-

ple de eventos. De este modo, se aportó estabilidad en los rendimientos y flexibilidad para enfrentar problemas. Si bien el aumento del rendimiento de maíz no fue significativo, se alcanzó una mejora relevante tanto en los ambientes de menor productividad, aquellos entre 5-7tn/ha, como en los ambientes más productivos, entre 10-12 tn/ha. Esta aparente contradicción puede deberse a que, en el período analizado, aumentó la proporción de maíz cultivado en ambientes de baja productividad, lo que atenuó el incremento de los rendimientos promedio nacionales.

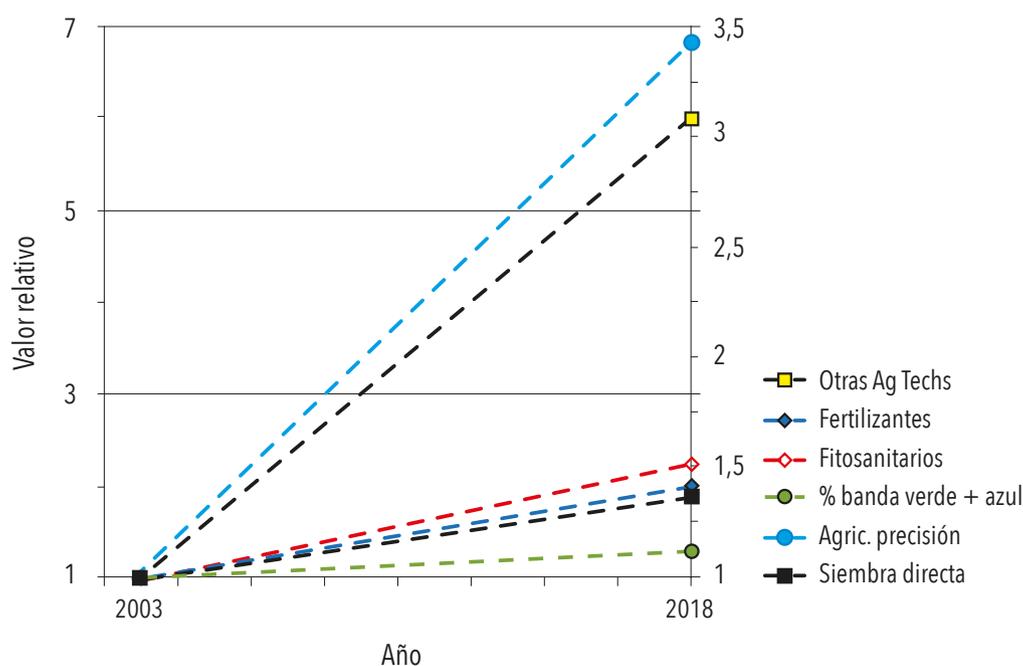
El maíz no fue el único cultivo con importantes transformaciones en el período analizado. En esta etapa se liberaron al mercado variedades de soja 'intacta' que incorporaron mayor seguridad en el manejo de glifosato y el evento **Bt** para la protección contra distintas especies de insectos lepidópteros, principales plagas del cultivo. Esta nueva genética se destaca y consolida en las regiones productivas de Entre Ríos, noreste y noroeste del país, donde se expande con mayor rapidez. En la zona central del país (centro y sur de Córdoba, Santa Fe, y norte y oeste de Buenos Aires) su introducción ha sido más lenta, y en el sureste y suroeste de Buenos Aires la adopción fue prácticamente nula.

A los aspectos antes expuestos (cambio de fecha de siembra, densidad e incorporación de nuevos genotipos) deben sumarse cambios en la rotación, además de la mayor participación de maíz en la secuencia. En especial, en la última mitad del período analizado se intensificó el uso del suelo a través del aumento del número de especies cultivadas por unidad de tiempo. Esto se consolida con el aumento de los dobles cultivos trigo/soja de segunda o cebada/soja de segunda.

También comenzó a expandirse la siembra de cultivos sin finalidad de cosecha, denominados cultivos de cobertura o cultivos de servicio. Consisten en la siembra de especies otoño-invierno-primaverales luego de un cultivo de verano, evitando así los barbechos largos sin actividad vegetal y aumentando la cobertura de rastrojo y la materia orgánica del suelo. Permite, además, afectar el ciclo de crecimiento de algunas especies de malezas y, por lo tanto, reducir el uso de herbicidas. Además, si se incorporan especies leguminosas invernales en mezclas con gramíneas o monoculturas, mejora la oferta de nitrógeno para los siguientes cultivos. Durante la primavera, estos cultivos se destruyen mecánicamente (utilizando **rollos** diseñados a ese fin) o químicamente (con herbicidas). Al momento, el uso de electricidad para la destrucción del cultivo de servicio o para el control de malezas no se ha difundido en la Argentina, aunque está a prueba en varias regiones. La intensificación del uso del suelo de la mano de cultivos sin finalidad de cosecha está lentamente transformando el manejo agronómico y tecnológico del agro.



Valores en 2018 (relativos a 2003) de la superficie del cultivo de maíz o del doble cultivo (rombos), de la participación en la superficie total del cultivo de maíz y del maíz tardío en la superficie total de maíz (círculos), de la participación de la soja de segunda (Sj2da) en la superficie sembrada con soja (eje vertical derecho). También se muestra el cambio en la proporción de productores **CREA** que utilizan cultivos de cobertura (C. cobertura; cuadrados) (eje vertical izquierdo). Los valores de referencia correspondientes a 2003 fueron 3,05 y 3,08Mhas de maíz y doble cultivos, respectivamente; 11,5% para la participación del maíz en la superficie total; 28% para la participación del maíz tardío en la superficie sembrada de maíz; 21,5% para la participación de soja de segunda en el área total de soja, y 1% para el porcentaje de productores **CREA** que utilizaban cultivos de cobertura. Las rectas del gráfico no implican tasas lineales de cambio en el período considerado.



Valores en 2018 (relativos a 2003) de la cantidad de fertilizante o fitosanitarios (rombo rojo) utilizados, de la superficie bajo **siembra directa** (cuadrado negro) y bajo agricultura de precisión (círculo celeste) y de uso de fitosanitarios **banda verde** y **azul** (círculo verde) (eje vertical derecho) y de uso de otras **Ag Techs** (cuadrado amarillo) (eje vertical izquierdo). Las tres últimas variables se estiman con datos de productores **CREA**. Los valores de referencia correspondientes a 2003 fueron 2,75Mt de fertilizante y 225Mkg o litros de fitosanitarios (producto comercial); 63% de superficie bajo siembra directa; 76% para la proporción de uso de productos fitosanitarios banda verde y azul; 7% de superficie bajo agricultura de precisión; y 2% de productores que utilizaban otras Ag Techs. Las rectas del gráfico no implican tasas lineales de cambio en el período considerado.

Tecnologías digitales

Hacia fines del siglo XX, las tecnologías digitales comenzaron a ingresar en el agro principalmente a través de la detección de la heterogeneidad de la vegetación con sensores satelitales y la aparición de cosechadoras con monitores de rendimiento. Esto permitió desarrollar lo que se denomina agricultura de precisión, manejo sitio específico de cultivos o, en sentido amplio, agricultura por ambientes. Estas tecnologías se extendieron en los últimos quince años y al día de hoy, casi un cuarto de los productores **CREA** las utiliza. Surgieron empresas con distintos modelos de negocio y definición de sus sensores para

ayudar a los productores a reconocer la variabilidad de la productividad dentro de su establecimiento y de sus lotes. Pero su difusión varió entre regiones, concentrándose en el oeste bonaerense, este de La Pampa, centro y sur de Córdoba y el **NOA**. En los últimos quince años esta tecnología no solo se apoyó en las posibilidades de sembrar densidades variables o aplicar dosis distintas de fertilizante según ambiente sino que comenzó a influir en la rotación y la distribución espacial de las especies y en el manejo de los cultivos según las características diferenciales de los distintos sectores de los campos.

En la última década se ha difundido el uso de sensores en las pulverizadoras para generar aplicaciones dirigidas

solamente a las áreas con malezas. Los usuarios de estos sistemas alcanzaron amplia difusión en el **NEA** y el **NOA** y, más recientemente en el área central incluyendo el suroeste de Buenos Aires. Cerca del 12% de los productores **CREA** utilizan alguna de estas tecnologías. Existe un gran potencial para la utilización de tecnologías geoespaciales, de sensores, de información y comunicación, de robótica, y de técnicas de aplicación que posibilitan reducir al máximo el empleo de herbicidas y combustibles fósiles ajustándose a las necesidades reales de cada situación, algo que puede extenderse al control de enfermedades y plagas animales. En conjunto, la agricultura de precisión, el manejo por ambiente y las pulverizaciones dirigidas han permitido mejorar la producción de los cultivos a través de decisiones y manejo agronómico más certeros, reducir los costos de insumos (semilla, herbicidas o fertilizantes) y en alguna medida disminuir los riesgos ambientales asociados con el manejo extensivo de cultivos.

Simultáneamente, en los últimos quince años aparecieron aplicaciones digitales orientadas a la mejor gestión de los recursos y la reducción de costos y pérdidas de rendimiento. Comenzaron a difundirse sistemas para el monitoreo de los cultivos incorporando el registro y la toma de decisión en aplicaciones sobre plataformas accesibles (tabletas o celulares). La mejora en la conectividad y el acceso a dispositivos móviles resultó estratégica para la expansión de estas herramientas digitales en el agro; su uso continúa expandiéndose, aunque lentamente, en el último quinquenio. Algunas aplicaciones ya incorporan la gestión de insumos y la logística de productos, convirtiéndose en verdaderos reservorios de los procesos ejecutados dentro de una empresa para su evaluación, gestión o mejora.

La revolución de las nuevas tecnologías en el agro recién está comenzando. Hay emprendimientos en desarrollo que incorporan sensores de todo tipo, algoritmos, redes neuronales e inteligencia artificial. Sin embargo, el proceso desde la innovación al uso extensivo de la tecnología es aún incipiente. Un trabajo reciente enumeró cerca de 63 empresas o emprendimientos que incluyen aplicaciones digitales en distintos procesos del manejo o de la toma de decisión en el proceso productivo. Cerca del 75% de estos emprendimientos se encuentra en el mercado o ha completado su desarrollo. Se percibe que una gran parte de ellos ha adquirido visibilidad recientemente, pero aún son escasas las evidencias sobre el impacto expuesto de estas innovaciones. Según datos del último Censo Agropecuario y reportes recientes sobre **Ag Techs**, existe una brecha importante entre las múltiples tecnologías digitales disponibles y su adopción o uso efectivo por parte de productores. En cualquier caso su desarrollo debe apoyarse en las demandas de los productores y la búsqueda de soluciones que integren a los distintos actores, incluyendo a los que desarrollan sus actividades en la producción

y en la investigación en instituciones públicas y privadas y al sector empresarial.

El agro y el ambiente

La expansión y la simplificación del modelo agrícola, la economía de escala y la incorporación de tecnología aumentaron la presión sobre el medio ambiente. Hay evidencias de deterioro del ambiente abiótico, vinculado a la dinámica del agua, el ciclado de los nutrientes y el ambiente físico del suelo que afecta el crecimiento de los cultivos. A esto se le suma un aumento de la contaminación ambiental por el uso de agroquímicos.

La salud del suelo es central en el ámbito productivo cuando se analiza el impacto del agro sobre el medio ambiente. Distintos niveles de erosión alcanzan a 45 millones de hectáreas de los suelos de la región chaco-pampeana, comprometiendo la productividad y el uso futuro de esas tierras. Es reconocido el hecho de que la **siembra directa** de cultivos, en el modelo extensivo imperante en los últimos quince años, ha hecho una contribución positiva pero ha sido insuficiente para frenar procesos de degradación en áreas sensibles de la Argentina.

En términos del ciclado de nutrientes, dos aspectos son destacables. Por un lado, el nivel de reposición de nutrientes extraídos por la cosecha de granos, si bien ha mejorado respecto de los valores del siglo pasado, no supera el 40-70% de lo exportado para el nitrógeno, fósforo y azufre, con amplias variabilidades entre regiones. Los niveles de reposición más bajos corresponden al norte del país. En paralelo, investigaciones recientes dan cuenta de una caída de componentes esenciales de los suelos (por ejemplo, materia orgánica y fósforo) en las áreas centrales de producción de la Argentina. Una solución posible es el aumento del uso de fertilizantes que redundaría en un aumento de la productividad y de los niveles de reposición. Cifras de la primera década del siglo indican que un aumento del 10% de uso de fertilizantes produjo el 6% de aumento de la productividad de granos. No obstante, su uso es aún muy inferior al de los países desarrollados, como Estados Unidos. Es evidente que existen amplias posibilidades y necesidades de expandir el uso de fertilizantes en el sistema extensivo de producción de granos. Otro aspecto es la mejora del ciclado de nutrientes en el establecimiento. El uso de fuentes orgánicas (reciclado de tambos y producciones intensivas de cerdos y aves, por ejemplo) mejora la salud de los suelos y reduce el efecto de contaminación. Sus beneficios son destacados, aunque su utilización y posibilidades de expansión resultan aún limitadas.

El uso de plaguicidas en el país se multiplicó muchas veces desde 1960 hasta hoy. En la campaña 2011-2012 se

utilizaron cerca de 9kg o litros de formulado por hectárea cultivada, valor muy superior al de principios de la década de 1990 (1,95kg o litros por ha) y al promedio mundial. Los productos utilizados en la actualidad en el país son en general menos tóxicos y persistentes que los usados en el pasado. El porcentaje de plaguicidas correspondientes a las categorías menos peligrosas (bandas verde y azul) creció del 31% en 1985 al 85% en 2016 en los planteos extensivos de grupos CREA. No obstante, el elevado uso de plaguicidas constituye un riesgo creciente. El glifosato es el compuesto más utilizado seguido por los piretroides, los fungicidas y otros herbicidas. El alto uso de glifosato se asocia con la práctica de la siembra directa y la utilización de cultivares RR de soja y maíz. Relevamientos recientes en distintos lugares del país indican presencia de los productos utilizados en agua, suelo y aire. Asimismo, la aparición de problemas asociados con resistencias a fitosanitarios y tecnologías utilizadas para el control de malezas, plagas y enfermeda-

Es reconocido que la siembra directa de cultivos, en el modelo extensivo imperante en los últimos quince años, ha hecho una contribución positiva pero ha sido insuficiente para frenar procesos de degradación en áreas sensibles de la Argentina.

des fue un signo destacado de los últimos quince años.

A fines de la década de 1980, luego de casi treinta años de expansión de la agricultura extensiva y del uso de fitosanitarios, no se había detectado ningún caso de resistencia en malezas, plagas o enfermedades de los cultivos en la Argentina. Pero, a comienzos de los 90, en los albores de la segunda revolución agrícola de las **pampas**, se detectó la primera resistencia a herbicida en el país. Fue el caso del yuyo colorado (*Amaranthus quitensis*), resistente a un herbi-

cida inhibidor de la enzima ALS. La producción extensiva ya había mostrado signos de deterioro con el avance de esquemas simples de manejo de especies de malezas tales como el sorgo de Alepo

(*Sorghum halepense*) o el gramón (*Cynodon dactylon*). Sin embargo, desde finales de la primera década de este siglo hasta el presente se han reportado más de 27 biotipos de malezas resistentes a herbicidas. También apareció la resistencia de insectos a eventos transgénicos como el barrenador del tallo del maíz (*Diatraea saccharalis*) y el gusano cogollero (*Sp-*



Gramíneas tolerantes a los herbicidas en un campo de maíz.



Productores analizando un cultivo de trigo.

doptera frugiperda). Todo esto puso en jaque el desarrollo y la seguridad de tecnologías que facilitaron la expansión del modelo agrícola de granos.

Estos procesos han sido favorecidos por el sistema de producción, los cambios en el uso de la tierra, la expansión de la agricultura, el deterioro del suelo y la reducción del área con cultivos de invierno. También fueron promovidos por la expansión de los cultivos resistentes a glifosato en soja, maíz y algodón y el de los maíces Bt en las distintas versiones con eventos simples o apilados, el bajo costo de las tecnologías y su amplia disponibilidad. Finalmente, está el productor que demanda la simplificación de los sistemas productivos y el aumento de las posibilidades de gestionar mayor escala apoyado en la concentración genética y la estandarización del modelo agronómico. Las interacciones entre estos factores desencadenaron procesos adaptativos que llevaron a la proliferación de plagas, enfermedades y malezas resistentes. El modelo simple agrícola descubre en las resistencias de estos organismos las dificultades de enfrentar los mecanismos evolutivos que los han hecho exitosos a través de los tiempos.

Frente al problema, la atención se centró en sostener los beneficios de la biotecnología y no en la evaluación de enfoques alternativos integrados para prolongar su vida útil. Las tecnologías simples no han sido exitosas en dar solución permanente a los problemas complejos. La intensificación del uso del suelo con dobles cultivos o cultivos de cobertura, las rotaciones diversas de especies y de mecanismos de acción de fitosanitarios o formas de intervención han sido introducidas tardíamente y, en muchos casos, junto con el manejo integrado de plagas, malezas y enfermedades, son enunciados con poca aplicación

en la práctica productiva extensiva. En este contexto, en los últimos años se buscaron soluciones integradas a los problemas bióticos de los cultivos pero que enfrentan dificultades derivadas del hecho de que (i) usualmente incorporan tecnologías no apropiables, por lo que su investigación y desarrollo despierta poco interés en el sector privado; (ii) son más complejas de aplicar pues requieren más conocimiento y dedicación, y (iii) sus beneficios son difíciles de valorar (no se identifica claramente el factor de éxito) debido a que aún hay desconocimiento de la complejidad de los procesos clave del problema de las malezas, plagas y enfermedades, y de su impacto.

La utilización de secuencias simplificadas de especies anuales de ciclo corto de crecimiento aumentó la productividad pero redujo el consumo de agua. Esto, junto con la menor producción de rastrojo, redujo la infiltración de las lluvias en las porciones altas del terreno, y causó el ascenso de napas y anegamientos en las áreas bajas. La deforestación y el pasaje de pasturas a cultivos también producen estos efectos. Como consecuencia, la superficie con posibilidades de ser sembrada se reduce, temporaria o permanentemente, en las áreas centrales del país. Este movimiento horizontal (escurrimiento) y vertical del agua aumenta el riesgo de la contaminación con fertilizantes —**eutrofización** y emisiones de gases de efecto invernadero— y con fitosanitarios. El aumento del uso de ambos insumos y la expansión de la agricultura agravaron los signos de estos procesos. En respuesta, la atención se puso en el manejo de los procesos que determinan el movimiento del agua y de las distintas sustancias y partículas transportadas en el suelo desde el establecimiento a otras porciones del paisaje en las cuencas. La capacitación y concientización de productores y agrónomos locales sobre las externalidades de sus decisiones han aumentado notoriamente en la última década.

El porcentaje de plaguicidas correspondientes a las categorías menos peligrosas (banda verde y azul) creció del 31% en 1985 al 85% en 2016

Los aumentos de la producción no pueden basarse principalmente en la expansión de la superficie cultivada pues esta resulta en pérdida de biodiversidad, emisiones de gases de efecto invernadero, excesos hídricos y exposición de tierras frágiles a procesos de degradación. Los mayores esfuerzos deben enfocarse en la intensificación del uso de la tierra a través de tecnologías que permitan reducir la erosión y degradación de los suelos y los excesos hídricos, evitar la contaminación química, utilizar más eficientemente los recursos e insumos, mantener la biodiversidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre estas tecnologías se destacan las de procesos y de conocimientos. El conocimiento del ambiente, del funcionamiento de los cultivos, de la biología de plagas y de las interacciones dinámicas entre los componentes del sistema es fundamental para guiar los procesos de la pro-

ducción tales como el manejo del suelo y las rotaciones, el manejo de los cultivos, las pasturas y los pastizales, el manejo integrado de malezas, plagas, etcétera.

La futura manifestación de nuestra capacidad creativa e innovadora deberá ser adaptar, transferir y desarrollar tecnologías que resulten en mayor productividad y en menor impacto ambiental.

Comentario final

Iniciado el siglo XXI, la agricultura enfrenta el desafío de mantener e incrementar su productividad de una manera sostenible. La agricultura ha hecho una gran contribución a la producción de alimentos y al crecimiento del país. Luego de haber transitado un espiral de cambios vertiginosos, los últimos quince años enfrentan al sector a nuevos contextos tecnológicos. Algunas innovaciones que estuvieron apoyadas en extensas investigaciones generaron cambios cuya magnitud fue difícil de prever. Sin lugar a dudas, uno de los desafíos emergentes de este período es aprender del dinamismo de esos procesos innovadores y repensar los objetivos para construir el camino más correcto. La producción extensiva aparece en transición buscando reconstruirse y atenuar los efectos no deseados. Enfrenta el desafío de satisfacer las demandas futuras cuidando el medio ambiente y asegurando rentabilidad y un desarrollo inclusivo y equitativo.

Si hasta hoy predominaron la expansión de la superficie bajo cultivos y las tecnologías de insumos, en el siglo XXI deberán imponerse las tecnologías de procesos basadas en conocimientos. Dentro de estos conocimientos, la biología y la ecología tendrán un rol relevante. Las tecnologías de procesos y conocimientos, en sinergia con las tecnologías duras, además de permitir satisfacer las de-

mandas y los requerimientos de alimentos, deben contribuir a reducir la erosión y degradación de los suelos y los excesos hídricos, evitar la contaminación química, utilizar más eficientemente los recursos e insumos, mantener la biodiversidad y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Dicha interacción de tecnologías puede romper el paradigma de los incrementos decrecientes (utilizar más insumos para obtener incrementos de productividad cada vez más pequeños) y construir uno que permita saltar de curva de respuestas posibilitando un aumento significativo de la eficiencia de uso de insumos o recursos e incluso una reducción de insumos sin mermas de productividad. Estas líneas de trabajo están siendo abordadas intensamente en la última década como uno de los caminos para desacoplar la mejora de productividad del impacto ambiental negativo. La capacidad de innovación, de la que el sector ha dado pruebas sobradas, será necesaria para abordar este desafío. Las nuevas tecnologías maduran con rapidez y seguramente contribuirán a alcanzar nuevas y efectivas soluciones a los actuales y futuros problemas.

Para alcanzar los objetivos de una producción sostenible, además se necesita la virtuosa articulación de actores, visiones y disciplinas. El éxito de un modelo productivo es responsabilidad de un amplio número de actores en el sector y el país. Su capacidad de resolver los problemas y potenciar virtudes depende de acciones colectivas (como en casi todos los problemas complejos) sostenidas en una profunda, veraz y amplia comunicación y, en especial, en la capacitación de todos los que intervienen. La agricultura de los próximos quince años será más compleja y deberá dejar de mirar solo el lote y abordar tecnologías y sus impactos a escalas de paisaje, cuencas, ecosistema y socioecosistema en camino a la construcción de sistemas productivos extensivos sostenibles. **CH**

LECTURAS SUGERIDAS

ANDRADE F, 2017, *Los desafíos de la agricultura argentina: satisfacer las futuras demandas y reducir el impacto ambiental*, Ediciones INTA, Buenos Aires.

CASAS R Y ALBARRACÍN M, 2015, *El deterioro del suelo y del ambiente en la Argentina*, FECIC, Buenos Aires.

SATORRE E, 2005, 'Cambios tecnológicos en la agricultura actual', *CIENCIA Hoy*, 15: 24-31.



Emilio H Satorre

Doctor en ciencias agropecuarias (PhD), University of Reading, Reino Unido.

Profesor titular, UBA.

Investigador asociado IFEVA, UBA-Conicet.

satorre@agro.uba.ar



Fernando H Andrade

Doctor en ciencias agropecuarias (PhD), Iowa State University, Estados Unidos.

Profesor titular, UNMdP.

Investigador principal del Conicet y del INTA.

andrade.fernando@inta.gob.ar