Grupo CEO

TREINTA AÑOS DE UTILIZACIÓN DE CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS EN ARGENTINA

Del liderazgo temprano a la bioeconomía

1996–2026

Eduardo Trigo · Jimena Vicentin Masaro
Nelson Illescas · Pablo Elverdin

Octubre 2026



Grupo CEO — Consultores en Economía y Organización
www.grupo-ceo.com

ACERCA DE

Grupo CEO

Grupo CEO (Consultores en Economía y Organización) es una organización multidisciplinaria fundada en 1994 en Buenos Aires, con más de tres décadas de trayectoria en investigación aplicada y asesoramiento estratégico para el sector agroindustrial.

Su equipo integra especialistas en economía, agronomía, derecho internacional, sociología, geopolítica y ciencia de datos, con una mirada que contempla las dimensiones económica, social, ambiental e institucional de cada desafío.

En articulación con redes académicas, gobiernos y organismos multilaterales, impulsa iniciativas orientadas a la sostenibilidad, la competitividad y la integración regional de las cadenas agroalimentarias de América Latina y el Caribe.

Resumen ejecutivo

En marzo de 2026 se cumplieron treinta años de la Resolución 167/1996, que autorizó el primer cultivo genéticamente modificado (OGM) en la Argentina e inició una de las transformaciones tecnológicas más profundas del agro nacional.

Este informe evalúa el impacto de la adopción desde una perspectiva sistémica —económica, institucional, territorial y ambiental— y estima beneficios brutos acumulados del orden de USD 197.500 millones (1996-2025). La adopción explica un promedio de más de 6 millones de hectáreas adicionales por año (7,9 millones en 2024) y unos USD 187.400 millones de exportaciones adicionales acumuladas hasta 2024.

El proceso habilitó cadenas productivas más complejas e inclusivas, que ampliaron el acceso de los productores a la tecnología e integraron servicios, industria y exportación, y abrió las puertas a la creación y sofisticación de complejos industriales de base bioeconómica en amplias regiones del país.

En el plano ambiental, los planteos GM no reducen el ingrediente activo ni el EIQ en campo, pero concentran el uso en productos de menor peligrosidad aguda según las bandas toxicológicas: en soja, el ingrediente activo de clase II, la de mayor peligrosidad presente, cae 49% y su participación en el total pasa de 42,5% a 19,4%; en maíz, la mejora es menor (−11%).

No obstante, este balance se matiza frente a algunas disparidades en la apropiación de la renta y a un liderazgo regulatorio necesario, pero no suficiente, frente a competidores como Brasil. A ello se suma un desafío del sistema de producción, no atribuible a la biotecnología: la falta de reposición de nutrientes de los cultivos extensivos, que se valuó en unos USD 30.500 millones en treinta años, algo más de USD 1.000 millones por campaña.

Sobre esa base, se recomienda: (i) modernizar el régimen de propiedad intelectual sobre semillas para sostener los incentivos a la innovación; (ii) atender la reposición de nutrientes como un desafío del sistema de producción, con prácticas, incentivos y mediciones que acompañen la intensificación productiva; (iii) fortalecer el ecosistema de innovación —inteligencia artificial, bioinformática, biología sintética— y sostener la modernización regulatoria para los OGM, así como para los productos de la edición génica y los bioinsumos; y (iv) profundizar la armonización regulatoria con los mercados de destino y la estabilidad institucional para consolidar el tránsito hacia una agricultura basada en conocimiento y una bioeconomía competitiva.

El desafío ya no consiste únicamente en producir más. Consiste en producir más conocimiento, agregar más valor a la biomasa, generar nuevas industrias bio-basadas y construir ventajas competitivas sustentadas en innovación permanente.

Contenido

Resumen ejecutivo iii
Introducción 6
1 Treinta años de transformación: proceso, contexto y significado 8
1.1 La Argentina de los noventa: condiciones para una adopción temprana 8
1.2 La regulación como ventaja competitiva: del liderazgo temprano a la nueva generación de biotecnologías 10
1.3 Del evento al paquete tecnológico: por qué el cambio fue sistémico 12
1.4 La innovación reorganizó actores, funciones y jerarquías 12
1.5 De la revolución agronómica a la reconfiguración territorial 14
1.6 La Argentina en el plano regional y global 15
2 Beneficios económicos de la adopción de cultivos OGM en Argentina: 30 años de evidencia (1996-2025) 17
2.1 Impactos y beneficios a nivel productor 17
2.1.1 Soja 17
2.1.2 Maíz 19
2.1.3 Algodón 20
2.2 Beneficios a nivel agregado 21
2.2.1 Distribución de los beneficios 26
3 Impactos sobre el uso de recursos y sobre el medio ambiente 27
3.1 El uso de agroquímicos 27
3.2 Impacto sobre las emisiones de dióxido de carbono 30
3.3 Impacto por secuestro de carbono 31
4 Comentarios finales: treinta años de innovación y los desafíos de una nueva etapa 32
4.1 De la innovación tecnológica a la transformación agrobioindustrial 33
4.2 Capacidades científicas y tecnológicas para la próxima etapa 34
4.3 La reposición de nutrientes: un desafío del sistema de producción ... 35
4.4 Sostenibilidad, regulación e inserción internacional 40
4.5 Una agenda estratégica abierta para los próximos treinta años 41
4.6 El verdadero legado y la oportunidad 42
Referencias 44
A1. Anexo. Beneficios brutos de la adopción de cultivos GM, su distribución y el uso de agroquímicos 48
A2. Anexo metodológico 53
A2.1. Modelo de área sembrada 53
A2.2. Modelo de exportaciones (3SLS) 53
A2.3. Contabilización de la distribución de beneficios 53
A2.4. Clasificación toxicológica de los productos formulados 55

Introducción

En marzo de 2026 se cumplieron treinta años de la aprobación comercial del primer cultivo genéticamente modificado (GM) en la Argentina. La Resolución 167/1996, que autorizó la soja tolerante a glifosato, marcó el inicio de un proceso de transformación tecnológica que modificó profundamente la agricultura nacional y posicionó al país entre los primeros adoptantes mundiales de la biotecnología agrícola. Lo que comenzó como la incorporación de una innovación específica terminó convirtiéndose en uno de los procesos de cambio productivo más significativos de la historia reciente del agro argentino.

Treinta años después, la evidencia disponible permite evaluar, con una perspectiva mucho más amplia, el significado de aquella decisión. Los cultivos GM no solo incrementaron la productividad y la competitividad del sector, sino que facilitaron la expansión de la frontera agrícola, impulsaron la consolidación de nuevas formas de organización empresarial, estimularon inversiones industriales, fortalecieron las exportaciones y contribuyeron a posicionar a la Argentina como uno de los principales proveedores mundiales de granos, expellers, harinas y aceites, tanto para alimentación humana como animal. Al mismo tiempo, el proceso abrió nuevos debates sobre sostenibilidad, propiedad intelectual, gobernanza de la innovación y regulación, que continúan vigentes y adquieren renovada importancia frente a la emergencia de una nueva generación de tecnologías biológicas.

Este informe busca ofrecer una evaluación integral de esos treinta años. A diferencia de estudios centrados exclusivamente en los impactos económicos sobre los productores, el análisis adopta una perspectiva sistémica que considera la interacción entre innovación tecnológica, instituciones, regulación, organización productiva y desarrollo económico. La experiencia argentina demuestra que el éxito de una innovación no depende únicamente de sus atributos técnicos, sino también de la existencia de capacidades científicas, marcos regulatorios previsibles, instituciones públicas competentes y un sector privado capaz de incorporar rápidamente nuevas tecnologías.

El documento se organiza en cuatro grandes partes. La primera reconstruye el contexto histórico e institucional en el que se desarrolló la biotecnología agrícola en la Argentina, analizando el proceso de adopción, el papel de la regulación, la evolución del sistema científico-tecnológico y los principales cambios estructurales asociados a los cultivos GM. La segunda presenta una actualización de las estimaciones de los beneficios económicos acumulados durante el período 1996–2025, incorporando tanto los efectos a nivel de productor como sus impactos agregados sobre producción, exportaciones y generación de valor. La tercera examina los impactos sobre el uso de recursos y el medio ambiente, con foco en el uso de agroquímicos y en las emisiones y el secuestro de carbono. Finalmente, la cuarta parte propone una reflexión prospectiva sobre los desafíos de la próxima etapa de desarrollo, que incluyen los del propio sistema de producción, como la reposición de nutrientes, y están marcados por la edición

génica, la biología sintética, la digitalización de la agricultura y la creciente convergencia entre ciencias biológicas, inteligencia artificial y tecnologías de datos.

Este aniversario coincide, además, con un momento particularmente significativo para la agricultura mundial. La transgénesis ha dejado de ser una tecnología emergente para convertirse en una plataforma sobre la cual se está construyendo una nueva generación de innovaciones. La edición génica, la biología sintética, la fenómica, la agricultura digital y la inteligencia artificial están modificando las posibilidades de producir alimentos, fibras, bioinsumos, biomateriales y bioenergía. En este contexto, la experiencia acumulada por la Argentina durante las últimas tres décadas constituye un activo estratégico para enfrentar los desafíos del futuro. El liderazgo alcanzado en materia de regulación, capacidades científicas y adopción tecnológica ofrece una base sólida, aunque insuficiente por sí sola. Mantener esa posición requerirá fortalecer el ecosistema nacional de innovación, modernizar los marcos de propiedad intelectual, profundizar la cooperación público-privada y consolidar políticas que permitan aprovechar plenamente la nueva ola de convergencia agro-bio-tecnológica.

Más que un balance retrospectivo, este informe propone, entonces, una mirada hacia adelante. Comprender los logros, limitaciones y enseñanzas de los primeros treinta años de los cultivos GM resulta indispensable para diseñar las políticas, instituciones y estrategias que permitan a la Argentina mantener un papel protagónico en la próxima revolución tecnológica de la agricultura.

1 Treinta años de transformación: proceso, contexto y significado

El 25 de marzo de 1996, la Resolución 167/1996 autorizó en la Argentina la producción y comercialización de soja tolerante a herbicida. Vista en perspectiva, aquella decisión no fue simplemente un acto regulatorio más dentro de la administración agropecuaria. Fue el punto de partida de una transformación profunda del sistema agrario argentino y, en un sentido más amplio, de una reconfiguración productiva, empresarial, territorial y exportadora cuyas consecuencias todavía estructuran buena parte del presente (Tejeda Rodríguez et al., 2021; Trigo et al., 2002).

La importancia histórica de aquella resolución no radica únicamente en haber habilitado el ingreso de un nuevo cultivo o insumo. Su verdadero significado fue otro: abrió la puerta a una lógica tecnológica diferente, apoyada en la integración entre biotecnología, manejo agronómico, herbicidas, siembra directa, servicios especializados y nuevas formas de organización de la producción (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017; Trigo et al., 2009). En rigor, la historia de los OGM en la Argentina no es la historia de una semilla aislada, sino la de un paquete tecnológico que alteró los costos, los tiempos, las decisiones, la escala y la estructura misma del proceso productivo (Qaim y Traxler, 2005; Tejeda Rodríguez et al., 2021).

Por eso, a treinta años de aquel hito, el análisis no debería limitarse a una conmemoración ni a un balance exclusivamente técnico. Lo que ocurrió desde 1996 permite leer en un mismo proceso cuestiones que hoy siguen siendo centrales: la relación entre innovación y desarrollo, el papel de las instituciones regulatorias, la velocidad de adopción tecnológica, la articulación entre sector público y sector privado, la capacidad de inserción internacional y, también, las tensiones que emergen cuando una innovación exitosa se masifica y reordena estructuras económicas y territoriales preexistentes (Barrows et al., 2014; Bennett et al., 2013).

1.1 La Argentina de los noventa: condiciones para una adopción temprana

La rápida difusión de los OGM en la Argentina no puede explicarse solo por las propiedades de la tecnología. Requiere ser entendida en el contexto más amplio de la economía política y de la organización del agro argentino en los años noventa (Trigo et al., 2002; Trigo, 2016).

En primer lugar, la Argentina llegaba a mediados de esa década con un sector agropecuario que, aun con limitaciones, contaba con capacidades empresariales, conocimiento agronómico acumulado y una tradición de rápida incorporación de innovaciones de proceso. La mecanización, la experimentación privada, la creciente profesionalización de la producción y la temprana difusión de prácticas conservacionistas habían generado una base fértil para la absorción de nuevas herramientas (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017; Trigo et al., 2009).

En segundo lugar, el contexto macroeconómico y regulatorio favorecía una dinámica de apertura a la innovación. Las reformas estructurales, la liberalización de mercados y la desregulación de distintos segmentos de la economía modificaron los incentivos en favor de una agricultura más orientada a la eficiencia, la competitividad y la inserción exportadora. La biotecnología no irrumpió, entonces, en un sistema inmóvil, sino en uno que ya estaba siendo reconfigurado (Trigo et al., 2002; Qaim y Traxler, 2005).

En tercer lugar, la Argentina había construido tempranamente una institucionalidad regulatoria que, con sus virtudes y límites, resultó decisiva para habilitar una adopción relativamente veloz. La experiencia argentina suele destacarse por haber contado, antes que muchos otros países, con capacidades regulatorias y técnicas para evaluar y acompañar la liberación comercial de cultivos genéticamente modificados. Esa temprana capacidad institucional fue una de las razones por las que el país pudo posicionarse como adoptante temprano y como referencia en la discusión regulatoria regional y mundial (Trigo, 2016; Trigo et al., 2002). A ello se sumó la existencia de una industria semillera ya instalada y con capacidad de escalamiento: hacia 2001 siete empresas ofrecían en el mercado argentino más de 50 variedades de soja RR —"Roundup Ready", o tolerante al glifosato—, y para fines de 2025 el país acumulaba 112 aprobaciones de OGM para producción y comercialización, distribuidas en soja, maíz, algodón, alfalfa, cártamo, papa y trigo. La propia Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA), además, fue reconocida por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) como centro de referencia en bioseguridad de eventos OGM, reconocimiento renovado en 2023 hasta 2027 (Qaim y Traxler, 2005; USDA FAS, 2025; Lewi et al., 2025).

La literatura internacional sobre biotecnología agrícola ha mostrado que la difusión exitosa de estas tecnologías depende no solo de sus atributos técnicos, sino también de un entorno institucional capaz de gestionar riesgos, coordinar incentivos y reducir incertidumbres. En ese sentido, el caso argentino fue relativamente singular: la tecnología llegó en un momento en que convergían una ventana regulatoria favorable, condiciones económicas propicias, una base empresarial dinámica y un sector científico-técnico con densidad suficiente como para dialogar con el proceso (Barrows et al., 2014; Bennett et al., 2013).

Ese entramado institucional y empresarial derivó en un proceso de adopción de velocidad inédita incluso en perspectiva histórica comparada. La Tabla 1 resume esa dinámica.

Tabla 1. Velocidad de adopción tecnológica: OGM en Argentina y maíz híbrido en Estados Unidos

Proceso	Año inicial	Adopción inicial	A los 5 años	A los 10 años	Adopción consolidada
Soja GM (Argentina)	1996/97	5,5%	84,4% (2000/01)	100% (2006/07)	100%
Maíz GM (Argentina)	1998/99	1%	50% (2003/04)	82% (2008/09)	99%
Algodón GM (Argentina)	2001/02	3%	80% (2006/07)	100% (2010/11)	100%
Maíz híbrido (EE. UU.)	1935	1%	>30% (1940)	~78% (1945)	96% (1960)

Fuente: Elaboración propia con base en Tejeda Rodríguez et al. (2021), USDA NASS (2018) y USDA FAS (2024, 2025).

La comparación ayuda a dimensionar el fenómeno. En la Argentina, particularmente en soja, la difusión de los OGM condensó en menos de una década una trayectoria de adopción que en otras innovaciones emblemáticas de la agricultura moderna había demandado varias décadas. Esa velocidad fue una de las razones por las cuales el impacto económico y organizacional del proceso resultó tan profundo.

1.2 La regulación como ventaja competitiva: del liderazgo temprano a la nueva generación de biotecnologías

Uno de los factores menos visibles, pero más determinantes, de la transformación iniciada en 1996 fue la existencia de un sistema regulatorio construido antes de la llegada de la primera generación de cultivos genéticamente modificados. Cuando la soja "Roundup Ready" (tolerante a glifosato) apareció en el mercado, la Argentina ya disponía de capacidades técnicas e institucionales para evaluar la bioseguridad, la inocuidad alimentaria y los impactos comerciales de estas tecnologías. La creación de la CONABIA en 1991, junto con la consolidación del Instituto Nacional de Semillas (INASE) y la participación del Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA), permitió establecer un esquema de evaluación científica, caso por caso, que otorgó previsibilidad tanto a los desarrolladores tecnológicos como a los productores y a los mercados internacionales[2].

Esta institucionalidad fue un componente esencial del éxito de la adopción. Mientras muchos países debatían aún la conveniencia de incorporar cultivos transgénicos, y cómo gestionarlos, la Argentina contaba con procedimientos claros y con una masa crítica de especialistas capaces de evaluar riesgos sobre bases científicas. La velocidad con que la soja RR alcanzó una adopción prácticamente total no fue solamente consecuencia de sus ventajas agronómicas, sino también de la reducción de incertidumbre que proporcionó un sistema regulatorio creíble y técnicamente sólido. En este sentido, la regulación funcionó como una verdadera infraestructura para la innovación.

La consolidación de ese sistema convirtió posteriormente a la Argentina en una referencia internacional. Así lo muestra el reconocimiento de la FAO a la CONABIA ya mencionado, mientras el número de eventos aprobados continuó expandiéndose hacia nuevos cultivos y nuevas aplicaciones biotecnológicas.

Sin embargo, el cambio más significativo ocurrió durante la última década. La irrupción de las nuevas técnicas de mejoramiento, particularmente la edición génica, obligó a revisar los enfoques regulatorios tradicionales. En 2015 la Argentina volvió a ubicarse en la frontera internacional al convertirse en el primer país en establecer un procedimiento específico para determinar cuándo un

[2] Para una versión más detallada del desarrollo regulatorio, se puede consultar el documento **La regulación como condición habilitante: 30 años de OGM en la Argentina (1996–2026)**, de Nelson Illescas. Disponible en https://grupo-ceo.com/publicaciones/la-regulacion-como-condicion-habilitante-30-anos-de-ogm-en-la-argentina-1996-2026/

organismo obtenido mediante edición génica u otra técnica de mejoramiento debía ser considerado, o no, un OGM. El criterio adoptado —centrado en analizar los cambios introducidos en el ADN— abrió un camino posteriormente seguido por varios países de América Latina y anticipó discusiones que hoy ocupan la agenda regulatoria mundial.

Ese liderazgo volvió a fortalecerse recientemente mediante una profunda actualización del marco regulatorio. Entre 2025 y 2026 se simplificaron procedimientos, se redujeron plazos de evaluación y se modernizaron las normas aplicables tanto a organismos genéticamente modificados como a productos obtenidos mediante edición génica. Las nuevas disposiciones mantienen el rigor científico en materia de bioseguridad e inocuidad, pero procuran eliminar cargas administrativas innecesarias y acelerar la llegada de innovaciones al mercado. Como resultado, una proporción significativa de todas las aprobaciones comerciales realizadas durante los últimos treinta años se concentró en el período más reciente, reflejando una clara aceleración de la actividad regulatoria.

La evolución regulatoria también revela algunos desafíos pendientes. El principal continúa siendo la modernización del régimen de propiedad intelectual sobre semillas, cuya actualización sigue siendo una condición necesaria para fortalecer los incentivos a la innovación y consolidar un ecosistema tecnológico competitivo. Al mismo tiempo, en el caso de la bioseguridad, la creciente interdependencia entre regulación nacional y acceso a los mercados internacionales exige una coordinación cada vez mayor con los principales socios comerciales y con los procesos internacionales de armonización regulatoria.

Vista en perspectiva, la experiencia argentina muestra que el éxito de la biotecnología agrícola no depende únicamente de la calidad de la ciencia o de la capacidad empresarial. También requiere instituciones capaces de evaluar riesgos con criterios científicos, generar confianza en los mercados y adaptarse rápidamente a la evolución tecnológica. Esa combinación fue decisiva para explicar el liderazgo alcanzado durante la primera generación de cultivos transgénicos y vuelve a adquirir relevancia en la actual transición hacia la edición génica, la biología sintética y otras tecnologías que probablemente definirán la próxima etapa de transformación de la agricultura.

Con todo, la experiencia de estas tres décadas también muestra los límites de la sola dimensión regulatoria. El liderazgo normativo temprano fue una condición necesaria, pero no suficiente, para sostener el liderazgo productivo. Brasil, que autorizó la soja GM varios años después que la Argentina, la superó luego ampliamente en superficie cultivada, impulsado por un régimen de propiedad intelectual que retribuyó la innovación, mayor previsibilidad macroeconómica y un clima de inversión más estable. La regulación, en suma, habilita la adopción, pero el sostenimiento del liderazgo depende, además, de los incentivos a la innovación y de las condiciones de inversión.

1.3 Del evento al paquete tecnológico: por qué el cambio fue sistémico

Una de las claves para interpretar lo ocurrido en estos treinta años es evitar una lectura reduccionista. Los OGM no deben entenderse como una innovación puntual, sino como parte de un cambio sistémico más amplio (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017; Trigo et al., 2009).

La soja RR no generó por sí sola la transformación del agro argentino. Lo que produjo el salto fue su articulación con otras innovaciones complementarias. La expansión de la siembra directa, la simplificación del control de malezas, la reducción de ciertas labores, la posibilidad de reorganizar calendarios productivos y la creciente estandarización de prácticas permitieron una intensificación sin precedentes (Qaim y Traxler, 2005; Tejeda Rodríguez et al., 2021). Esa complementariedad tecnológica fue determinante.

Desde esta perspectiva, los OGM funcionaron como una tecnología habilitante. No solo resolvieron un problema puntual de manejo; ayudaron a viabilizar una nueva forma de producir. La agricultura argentina pasó a ser más intensiva en conocimiento, más dependiente de servicios especializados, más articulada con proveedores de insumos y más exigente en términos de gestión (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017; Trigo et al., 2009). El cambio, por tanto, no fue simplemente biológico. Fue agronómico, organizacional y económico.

Esta lectura es consistente con enfoques más amplios sobre transformación agrícola que enfatizan la complementariedad entre tecnologías, prácticas e instituciones, más que el efecto lineal de una innovación individual (Pingali, 2012; Tilman et al., 2011). En el caso argentino, esa idea resulta especialmente útil. La adopción de OGM fue inseparable de la consolidación de un modelo productivo apoyado en redes, servicios, información técnica y nuevas capacidades de coordinación (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017).

1.4 La innovación reorganizó actores, funciones y jerarquías

Uno de los efectos más profundos del ciclo abierto en 1996 fue la transformación organizacional del agro argentino. Muchas veces se destaca el aumento de producción, la expansión del cultivo de soja o el peso creciente del complejo agroexportador. Todo eso es cierto, pero resulta insuficiente para captar la magnitud del cambio. Lo que se modificó, también, fue la manera de producir y la propia configuración de los actores (Bisang et al., 2008; Trigo et al., 2002).

En esos años se consolidó una estructura productiva mucho más flexible y externalizada. Los prestadores de servicios de mecanización, comúnmente conocidos como “contratistas rurales”, adquirieron una centralidad inédita. Los pools de siembra y otros esquemas asociativos o financieros ampliaron su gravitación. Las empresas proveedoras de semillas, agroquímicos, maquinaria, servicios agronómicos y logística pasaron a ocupar un lugar cada vez más relevante. El productor tradicional dejó

de ser el único organizador del proceso productivo y comenzó a insertarse en redes más densas y complejas (Bisang et al., 2008; Piñeiro et al., 2017).

Tabla 2. Reorganización de actores y funciones en el nuevo agro argentino

Dimensión	Evidencia	Implicancia
Contratistas rurales	>60% del componente de labores; en torno al 80% de la aplicación tecnológica en distintos sistemas	La producción se volvió más externalizada, flexible y profesionalizada.
Pools de siembra	Escalaron desde esquemas emergentes en los noventa a estructuras capaces de operar a gran escala	Facilitaron acceso a capital, gestión profesional y fuerte tercerización.
Empresas proveedoras	Mayor peso de semilleras, agroquímicas, maquinaria, servicios agronómicos y logística	La innovación dejó de estar concentrada en el productor y se distribuyó en redes.
Coordinación del sistema	Más información técnica, contratos y articulación vertical y horizontal	La competitividad pasó a depender más de la coordinación entre actores.

Fuente: Elaboración propia con base en Bisang et al. (2008) y FACMA (2026).

Esa reorganización estuvo acompañada por una creciente integración entre producción primaria, provisión tecnológica, procesamiento industrial y exportación. En otras palabras, la innovación biotecnológica no solo impactó en el lote; impactó sobre toda la cadena (Tejeda Rodríguez et al., 2021; Trigo et al., 2002).

Tabla 3. Industrialización y agregado de valor asociados a la expansión del complejo agrobiotecnológico

Indicador	Valor reciente	Comentario
Participación del Gran Rosario en el crushing nacional	≈80%	Concentra el principal nodo aceitero-exportador del país.
Capacidad activa de crushing	207.800 t/día	Escala industrial que distingue a la Argentina en el comercio global de derivados.
Molienda de soja en 2024	42,2 Mt	Quinta mayor marca histórica.
Exportaciones 2024 de aceite y derivados de soja	USD 15.960 millones	Muestran el peso del agregado de valor industrial sobre la biomasa.
Bioetanol en 2024	17 plantas; 1,21 millones m³	Récord histórico de producción.
Biodiésel en 2024	+40% vs. 2023	Recuperación parcial, aunque aún por debajo de máximos previos.

Fuente: Elaboración propia con base en BCR (2021, 2025a, 2025b, 2025c).

Desde un punto de vista analítico, esto es importante porque ayuda a comprender por qué la experiencia argentina fue más que un caso de adopción tecnológica rápida. Fue también un caso de reestructuración productiva. El nuevo agro argentino se volvió más eficiente y competitivo, pero también más intensivo en capital, con mayor capacidad de traccionar empleo directo e indirecto, más exigente en términos de conocimiento y más sensible a la coordinación entre actores. Solo considerando el efecto de la trayectoria de los OGM sobre las cadenas analizadas, las estimaciones disponibles ubican la demanda adicional promedio en más de 93.000 puestos de trabajo directos por campaña entre 1996 y 2020

(Tejeda Rodríguez et al., 2021). Cabe matizar que el paquete tecnológico, ahorrador de mano de obra en el lote —menos labores y aplicaciones—, tiende a reducir el empleo por hectárea en la fase agrícola primaria. Aun así, según esa misma fuente, cerca de dos tercios del empleo adicional estimado (unos 60.600 puestos) se ubica en la producción primaria, asociado a la expansión del área sembrada, mientras que el resto corresponde al procesamiento (unos 19.300) y al transporte (unos 14.100).

La literatura internacional sobre biotecnología ha advertido que estos procesos suelen venir acompañados de debates sobre concentración, propiedad intelectual y distribución del valor. La Argentina no fue una excepción. El mismo proceso que expandió la frontera tecnológica y fortaleció la competitividad también abrió interrogantes sobre dependencia tecnológica, apropiación de rentas, incentivos a la innovación local y capacidad del sistema institucional para sostener una trayectoria equilibrada de desarrollo (Barrows et al., 2014; Bennett et al., 2013).

1.5 De la revolución agronómica a la reconfiguración territorial

El ciclo tecnológico de los OGM tuvo además una dimensión territorial insoslayable. La expansión agrícola de las últimas décadas no solo modificó los rendimientos y la producción; también reordenó el espacio agrario argentino (Bisang et al., 2008; Tejeda Rodríguez et al., 2021).

Tabla 4. Indicadores de expansión territorial y productiva del nuevo modelo agrícola

Indicador	Mediados de los 90	Situación reciente
Área sembrada con soja	6,7 Mha (1996/97)	16,5–18,4 Mha según campaña reciente
Área sembrada con maíz	Algo más de 3 Mha	7,5 Mha proyectadas para 2025/26
Producción total de granos	≈45 Mt	>130 Mt en campañas favorables
Cereales y oleaginosas cosechados	—	33,3 Mha en 2023/24
Siembra directa	<10% del área	>30 Mha; práctica dominante
Desplazamiento geográfico	Predominio pampeano	Mayor peso relativo de NOA y NEA; expansión de doble cultivo

Fuente: Elaboración propia con base en Tejeda Rodríguez et al. (2021) y USDA FAS (2025).

La llamada “sojización” fue, en parte, la expresión visible de un fenómeno más amplio, esto es, la extensión de una nueva lógica tecnológica a territorios y sistemas productivos que antes tenían otra estructura, otros equilibrios y otras limitaciones. La expansión hacia regiones extrapampeanas, la intensificación de secuencias de cultivo, la mayor presión sobre infraestructura y logística y la integración de nuevas áreas a cadenas nacionales e internacionales de valor forman parte de esa historia (Trigo et al., 2002). En la práctica, ello implicó un reordenamiento de la geografía productiva, en el que el Noroeste (NOA) y el Noreste (NEA) ganaron peso relativo, la doble cosecha trigo-soja se extendió donde antes predominaba un solo cultivo anual, y buena parte de la ganadería pampeana fue desplazada hacia sistemas feedlot o hacia áreas periféricas.

Pero la transformación territorial no fue homogénea. Sus efectos fueron diferentes según regiones, actores y escalas. En algunas zonas generó dinamismo económico, nuevos servicios y mayor articulación con mercados; en otras, profundizó tensiones vinculadas al desplazamiento de actividades previas, a la presión sobre recursos naturales o a cambios en la estructura social rural. En términos logísticos y comerciales, la expansión también consolidó nuevos corredores y reforzó la centralidad del complejo portuario-industrial del Río Paraná. Por eso, una lectura madura de estos treinta años requiere reconocer que el éxito productivo convivió con efectos diferenciados y, en ocasiones, conflictivos (Bisang et al., 2008).

Aquí conviene hacer una precisión importante. No todos los problemas territoriales o ambientales asociados al ciclo agrícola pueden atribuirse linealmente a los OGM. Sería una simplificación. Muchas de esas tensiones deben leerse como el resultado de la forma en que una tecnología poderosa se integró a un sistema económico, institucional y territorial más amplio. El problema no fue solo la tecnología, sino el modo en que se la combinó con incentivos, regulaciones, estructuras empresariales y estrategias de uso del suelo (Bennett et al., 2013; Pingali, 2012).

1.6 La Argentina en el plano regional y global

Otra razón por la cual el proceso iniciado en 1996 merece ser revisitado es que tuvo implicancias más allá del espacio nacional. La experiencia argentina se inscribió tempranamente en una transformación mayor de la agricultura global, asociada a la difusión de la biotecnología, la reorganización de los mercados de commodities y el ascenso de Asia —particularmente China— como gran motor de la demanda (Barrows et al., 2014; Tejeda Rodríguez et al., 2021). Aquí conviene introducir una precisión relevante: no es lo mismo hablar de países que cultivan OGM comercialmente, países que han otorgado aprobaciones de cultivo y países que han adoptado OGM vía importación para alimento, forraje o procesamiento. La evidencia más reciente sobre cultivo efectivo indica que en 2025 se sembraron 216,0 millones de hectáreas (ha) de cultivos GM en 30 países. En paralelo, el Servicio Internacional para la Adquisición de Aplicaciones de Biotecnología Agrícola (ISAAA por su sigla en inglés) reportó que a octubre de 2024 ya eran más de 30 los países con aprobaciones de cultivo, y su base de referencia para 2019 mostraba más de 70 países adoptantes si se incluyen los que, sin cultivar, habían aprobado importaciones o usos para alimento, forraje o procesamiento. En ese sentido, los OGM deben entenderse hoy no solo como una tecnología difundida, sino también como una norma tecnológica cada vez más extendida en los principales mercados agroalimentarios (AgbioInvestor, 2026; ISAAA, 2019, 2024; USDA ERS, 2016; USDA FAS, 2025; USDA FAS Brazil, 2025).

Tabla 5. La Argentina en el mapa global del cultivo, la aprobación y la adopción de OGM (2025)

Indicador	Valor	Interpretación
Área mundial con cultivos OGM (2025)	216,0 Mha	Los OGM siguen expandiéndose y mantienen escala global récord.

Indicador	Valor	Interpretación
Países que cultivan OGM comercialmente (2025)	30	La difusión efectiva continúa ampliándose y ya abarca todos los continentes agrícolas relevantes.
Países con aprobaciones de cultivo (oct. 2024)	>30	El universo regulatorio es mayor que el de los países que efectivamente cultivan en un año dado.
Países que adoptaron OGM vía cultivo o importación	>70	La adopción internacional excede largamente a los países cultivadores cuando se incluyen alimento, forraje y procesamiento.
Estados Unidos	>90% del área de soja, maíz y algodón GM	Sigue siendo el principal referente de madurez tecnológica y comercial.
Brasil	99% soja; 96% maíz; 99% algodón	La biotecnología es una norma tecnológica de mercado en el principal competidor regional.
Argentina	≈100% soja; 99% maíz; 100% algodón	Se mantiene entre los adoptantes más intensivos del mundo.
Posición de Argentina	25,4 Mha; 3er productor mundial	Solo detrás de Estados Unidos y Brasil en superficie cultivada con OGM.

Fuente: Elaboración propia con base en AgbioInvestor (2026), ISAAA (2019, 2024), USDA ERS (2016), USDA FAS (2025) y USDA FAS Brazil (2025).

En ese contexto, la Argentina no solo adoptó una tecnología. Aprovechó una ventana histórica. La combinación entre adopción temprana, expansión productiva y fortalecimiento exportador permitió que el país se consolidara como actor relevante en el comercio global de granos, harinas y aceites. La trayectoria de estos treinta años debe leerse también como parte de una nueva inserción internacional del agro argentino (Qaim y Traxler, 2005; Trigo, 2016).

Esto tuvo consecuencias macroeconómicas evidentes, pero también implicancias estratégicas. La Argentina ganó posición como proveedor, como espacio de experimentación tecnológica y como referente regulatorio y técnico-institucional en la discusión biotecnológica. No obstante, esa misma inserción la volvió más dependiente de dinámicas externas: precios internacionales, aprobaciones regulatorias en terceros mercados, disputas tecnológicas, estándares ambientales y tensiones geopolíticas crecientes (Barrows et al., 2014; Bennett et al., 2013).

Ese punto adquiere hoy una relevancia especial. Si en 1996 el gran desafío era entrar a tiempo en un nuevo ciclo tecnológico, en la actualidad el problema es más complejo: cómo sostener competitividad, autonomía relativa y capacidad de innovación en un mundo donde tecnología, comercio, ambiente y geopolítica están cada vez más entrelazados (Bennett et al., 2013; Mackelprang y Lemaux, 2020).

2 Beneficios económicos de la adopción de cultivos OGM en Argentina: 30 años de evidencia (1996-2025)

La estimación de los beneficios económicos de los cultivos OGM en Argentina desde su introducción en 1996 hasta la fecha (2025) se realiza a partir de las estimaciones publicadas en Tejeda Rodríguez et al. (2021), actualizadas por este reporte para el período 2021-2025, utilizando los mismos planteos, pero con modelos, precios y bases actualizados, de manera de extender las series para presentar y evaluar el impacto acumulado de los 30 años completos. Salvo que se indique lo contrario, toda cifra que refiera al período 1996-2020 proviene de esa fuente, mientras que las correspondientes a los impactos desde 2021 en adelante proceden de una estimación de este informe.

En términos metodológicos, para el período 1996-2020 se replican los planteos, fuentes y supuestos de Tejeda Rodríguez et al. (2021), mientras que para 2021-2025 se actualizan las bases de precios, costos y rendimientos, y se incorporan dos modelos econométricos propios —un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas (SUR) para el área sembrada y un sistema de tres etapas (3SLS) para exportaciones y precios FOB— que permiten aislar el efecto de la adopción de OGM mediante la construcción de escenarios contrafácticos sin tecnología. El detalle técnico de ambos modelos se presenta en el Anexo metodológico.

La exposición de los resultados sigue un orden ascendente de agregación. En primer lugar, se cuantifican los beneficios a nivel productor para soja, maíz y algodón, comparando planteos GM y convencionales en términos de costos directos y márgenes brutos por hectárea. A partir de allí, se escalan estos efectos a nivel agregado, incorporando el impacto de la adopción sobre la expansión del área cultivada y su traducción en mayores volúmenes y valores exportados. Finalmente, se presenta cómo ese excedente generado se distribuye entre los distintos agentes de la cadena agroindustrial —productores, Estado, contratistas, industria aceitera, semilleras, transporte y comercialización—.

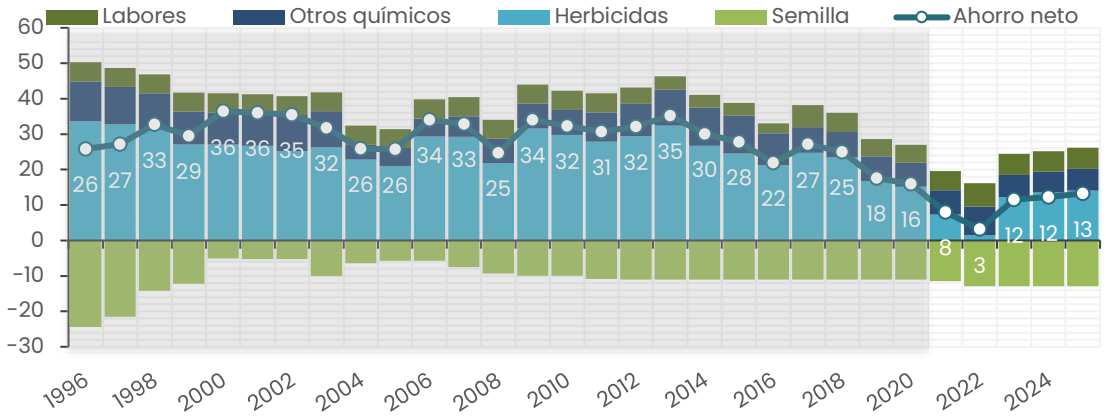
2.1 Impactos y beneficios a nivel productor

La adopción de OGM genera beneficios económicos directos al productor por dos vías: menores costos de manejo de plagas y malezas, y mejores márgenes brutos por hectárea. El análisis compara, para cada cultivo, un planteo GM contra su equivalente convencional, cuantificando la diferencia en costos directos y márgenes.

2.1.1 Soja

La soja con tolerancia al glifosato fue el primer cultivo GM adoptado a escala comercial en Argentina, alcanzando tasas de adopción superiores al 99% del área sembrada en menos de una década. La tecnología actúa sobre el esquema de control de malezas. El paquete convencional, que requiere múltiples aplicaciones de herbicidas selectivos de elevado costo unitario, fue reemplazado por esquemas centrados en glifosato, de menor costo y mayor facilidad de aplicación.

Figura 1. Evolución de los ahorros obtenidos de la comparación entre un planteo de soja GM vs. convencional por rubro (USD/ha.) en los 30 años

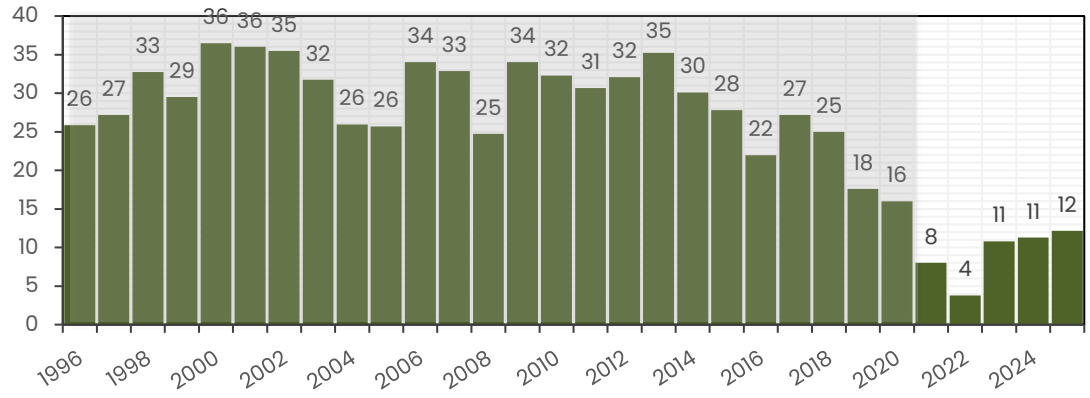


Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

La Figura 1 muestra la diferencia entre el costo del control de malezas convencional y el costo del esquema semilla GM, valuados a precios corrientes de insumos de cada campaña. La evolución temporal muestra la influencia de los ciclos de precios de los herbicidas y del surgimiento de malezas resistentes al glifosato, que en los últimos años generó una parcial recomposición de los costos de control.

Complementariamente, la Figura 2 presenta el incremento neto de margen por hectárea resultante de la adopción de soja GM, que incorpora tanto el ahorro en herbicidas como los efectos sobre otros componentes del margen bruto. Hasta 2018, en promedio, un planteo de soja GM generaba casi 30 USD/ha más de margen que un planteo convencional, pero esa diferencia se vio reducida desde entonces a 11 USD/ha, en promedio, reflejando el encarecimiento del glifosato y la aparición de malezas resistentes, que obligó a recomponer parcialmente los costos de control.

Figura 2. Evolución del aumento en márgenes de aplicar un planteo de soja GM (USD/ha.)



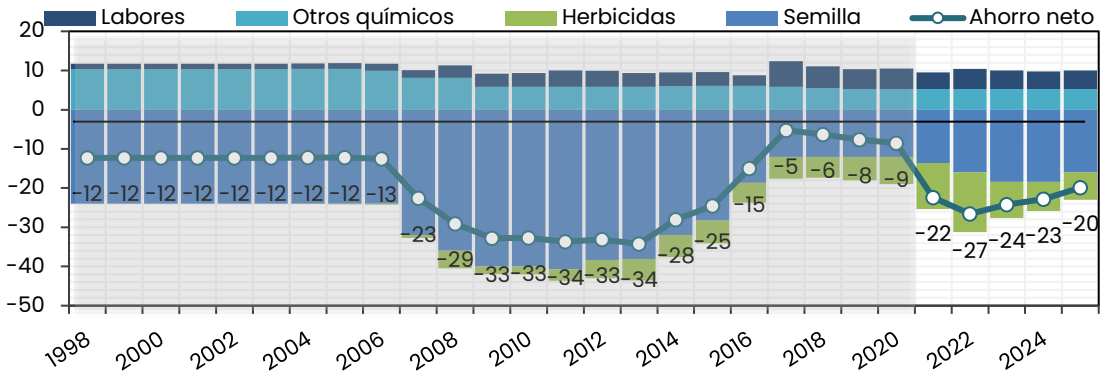
Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

2.1.2 Maíz

En el caso del maíz GM, las dos características principales son la tolerancia a herbicidas y, especialmente, la resistencia a insectos mediante tecnologías Bt,[3] que brindan protección frente a las principales plagas lepidópteras. Esta segunda característica tiene un efecto doble, ya que reduce el costo de las aplicaciones de insecticidas y, al mismo tiempo, disminuye las pérdidas de rendimiento asociadas al daño por plagas.

A diferencia de la soja, en maíz el balance de costos directos entre planteos no es sistemáticamente favorable al esquema GM. En varias campañas el gasto en semilla e insumos del planteo GM iguala, o supera, al del convencional, por lo que el ahorro neto en gastos de insumos puede resultar negativo (Figura 3). Sin embargo, esto no implica un peor desempeño económico relativo, ya que la ventaja del maíz GM opera principalmente por vía del rendimiento. Al reducir las pérdidas de grano asociadas al daño de plagas lepidópteras, las tecnologías Bt elevan la producción por hectárea, lo que compensa el mayor costo directo y se traduce en un margen bruto superior al del planteo convencional. Es este efecto sobre rendimientos —y no un ahorro en insumos— el que explica el incremento de márgenes que se observa en la Figura 4.

Figura 3. Evolución de los ahorros obtenidos de la comparación entre un planteo de maíz GM vs. convencional por rubro (USD/ha.) en los 30 años



Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

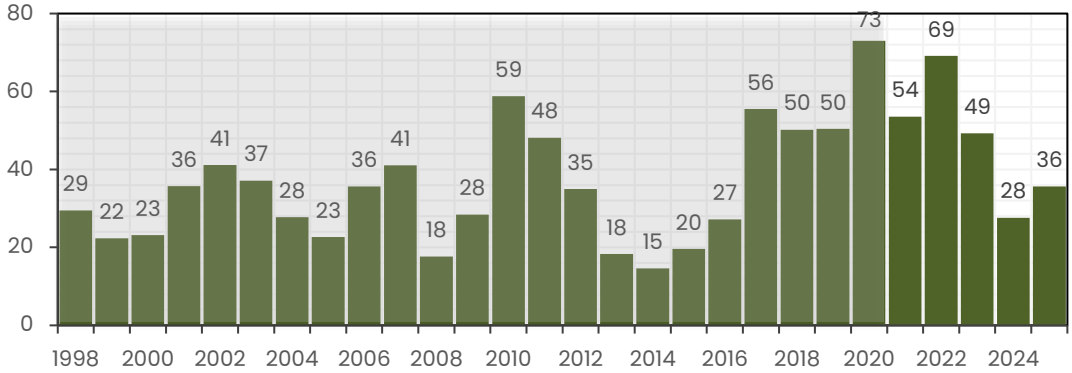
Se observa una tendencia marcadamente ascendente en los beneficios durante el período 2021-2025, asociada a la consolidación de eventos apilados (Bt + HT)[4] y al encarecimiento relativo de los insecticidas utilizados en el planteo convencional (Figura 4). La expansión del maíz tardío en la región

[3] Los cultivos Bt contienen genes provenientes de la bacteria del suelo Bacillus thuringiensis. Estos genes permiten que las plantas produzcan proteínas específicas que les confieren protección frente a determinados insectos, reduciendo los daños causados por estas plagas.

[4] El término Bt + HT en maíz hace referencia a cultivos modificados genéticamente que combinan, en la misma planta, dos tecnologías clave para simplificar el manejo agronómico y proteger el rinde: resistencia a insectos plaga (Bt) y tolerancia a herbicidas (HT).

central del país, con mayor presión de plagas en ese segmento, refuerza la relevancia económica del esquema GM en las campañas más recientes.

Figura 4. Evolución del aumento en márgenes de aplicar un planteo de maíz OGM (USD/ha.)



Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

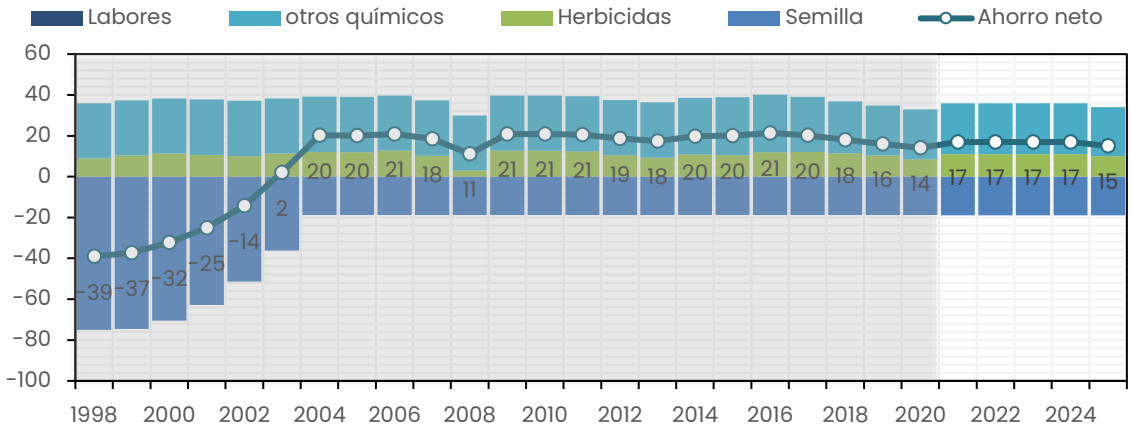
Desde 2016, en promedio, los márgenes de un planteo GM son casi 50 USD/ha mayores a los que serían en un planteo convencional.

2.1.3 Algodón

El algodón Bt fue la tecnología que generó el mayor impacto relativo sobre los costos de producción respecto del planteo convencional. En la producción convencional, el control de plagas —lepidópteros— demanda un número significativo de aplicaciones de insecticidas a lo largo del ciclo del cultivo, representando la principal partida del costo variable. Las variedades Bt reducen drásticamente ese costo, al expresar proteínas insecticidas de forma sistémica, eliminando o reduciendo a niveles mínimos las aplicaciones externas.

Analizando los ahorros obtenidos entre un planteo GM y convencional del algodón, la Figura 5 ilustra que, a diferencia de lo que sucedía en soja, el ahorro por hectárea está determinado principalmente por el rubro insecticidas. El período 2021-2025 exhibe un incremento relativo en los beneficios por hectárea, explicado tanto por la suba de los precios de los insecticidas convencionales como por una mayor incidencia de plagas que eleva el número de aplicaciones requeridas en el esquema sin OGM. Este desempeño posiciona al algodón Bt como una de las tecnologías de mayor retorno relativo en el actual contexto de precios de insumos.

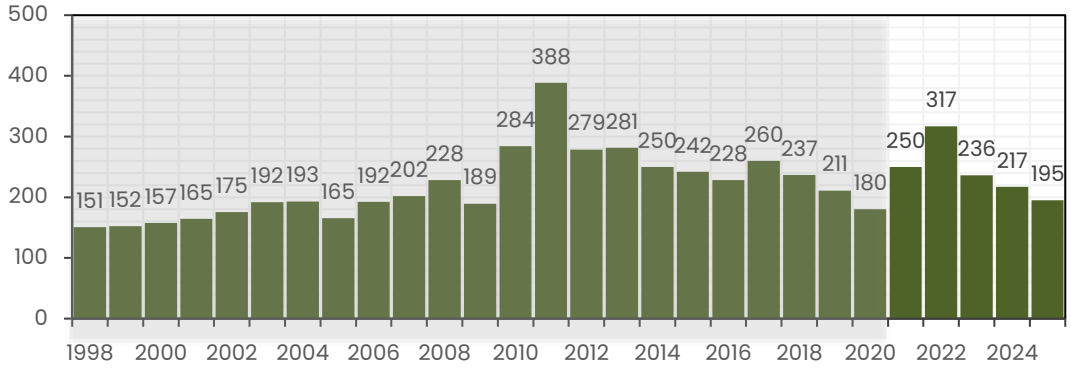
Figura 5. Evolución de los ahorros obtenidos de la comparación entre un planteo de algodón GM vs. convencional por rubro (USD/ha.) en los 30 años



Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

En el promedio 2016-2025, los márgenes de los planteos GM son 230 USD/ha mayores que los de los convencionales.

Figura 6. Evolución del aumento en márgenes de aplicar un planteo de algodón GM (USD/ha.)



Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Manteniendo la misma metodología, se actualizaron para el período 2021-2025.

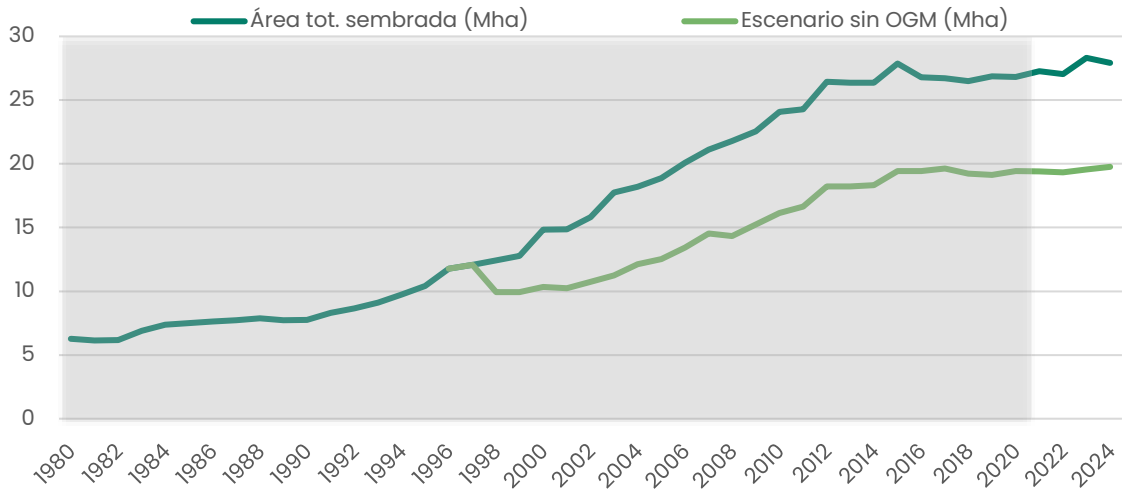
2.2 Beneficios a nivel agregado

Más allá del productor individual, la adopción de OGM tuvo efectos sistémicos sobre la economía argentina, a través de tres canales: expansión del área cultivable, mayor productividad por hectárea, y su traslado a mayores volúmenes de exportación. Para aislar estos efectos, se construyen escenarios contrafácticos —bajo la pregunta de qué habría pasado sin adopción OGM— mediante modelos econométricos. Tal como se mencionó previamente, para 2021-2025, este informe desarrolla dos modelos propios: un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas (SUR) para el área sembrada, y un sistema de tres etapas (3SLS) para exportaciones y precios FOB.[5]

[5] El detalle técnico de ambos se presenta en el Anexo metodológico.

La reducción de los costos de producción y la flexibilización de los esquemas de manejo habilitaron la incorporación de hectáreas que no resultaban económicamente rentables bajo el planteo convencional. En la Figura 7 se muestra la evolución del área sembrada real frente al escenario contrafáctico sin OGM, desde 1980 hasta la actualidad, contabilizando el área correspondiente a los cultivos de soja, maíz y algodón. En los 30 años de adopción de la biotecnología, 6,1 millones de hectáreas adicionales por año en promedio se destinaron a la producción de estos tres cultivos, 7,9 Mha en 2024.

Figura 7. Evolución del área sembrada real vs. área sembrada en escenario sin cultivos GM, en millones de ha (Mha)



Fuente: Tejeda Rodríguez et al. (2021) para 1996-2020, Elaboración propia para el período 2021-2025.

El mayor impacto corresponde a la soja. Entre 1996 y 2020 generó, en promedio, 5,4 millones de hectáreas adicionales por año, cifra que subió a 6 millones desde 2021.

El impacto absoluto en área es menor en maíz y algodón. En el primero, implicó una superficie adicional de 400 mil hectáreas, en promedio entre 1998 y 2020. Sin embargo, se estima que el mayor impacto se da desde 2016, en donde el maíz GM implicó, en promedio, 1,2 millones de hectáreas adicionales.

Figura 8. Evolución del área sembrada real vs. área sembrada en escenario sin adopción de OGM por cultivo, en millones de hectáreas

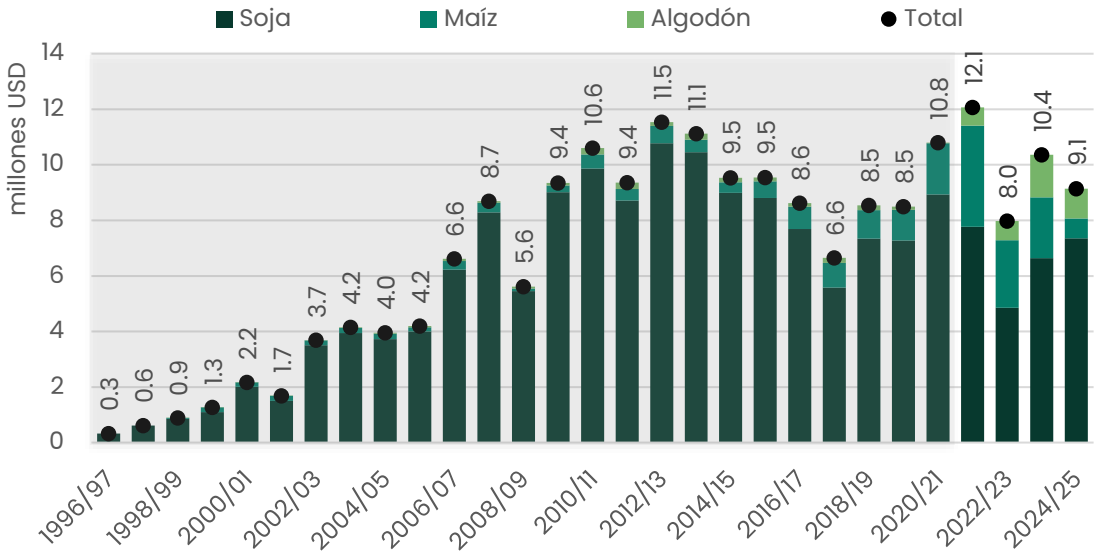


Fuente: Tejeda Rodríguez et al. (2021) para 1996-2020, Elaboración propia para el período 2021-2025.

La

Figura 9 integra los tres canales de impacto agregado en una única estimación de los beneficios brutos anuales: el ahorro en costos de producción valuado para la totalidad del área cultivada con tecnología GM, la mejora de rendimientos ponderada por la tasa de adopción y el área sembrada, y el valor de la expansión de área atribuible a la tecnología. Esta estimación consolida en una sola cifra —expresada en miles de millones de USD corrientes— el conjunto de los beneficios generados por la adopción de OGM en el sector agropecuario argentino.

Figura 9. Evolución de beneficios brutos de cultivos GM. En miles de millones de USD



Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Se actualizaron para el período 2021-2025 utilizando la misma metodología.

Conviene precisar el alcance de esta medida. Siguiendo la metodología de Tejeda Rodríguez et al. (2021), el "beneficio bruto" capta el valor de la producción adicional y de los ahorros de costos atribuibles a la tecnología, pero no descuenta el costo de oportunidad de los factores movilizados por la expansión del área ni deflacta los flujos, expresados en USD corrientes de cada campaña. Debe leerse, por lo tanto, como una estimación del valor bruto generado —un límite superior— y no como un excedente neto de bienestar. Las cifras agregadas son, además, estimaciones centrales de los modelos contrafácticos, sensibles a sus supuestos de identificación, por lo que conviene interpretarlas como órdenes de magnitud antes que como valores exactos.

Entre 1996 y 2020, el beneficio bruto promedio fue de USD 6.320 millones anuales, con un pico de USD 11.500 millones en 2012/13. El período 2021-2025 acumula USD 39.543 millones adicionales, equivalentes al 20% del total histórico, llevando el acumulado de los 30 años a USD 197.543 millones (detalle por cultivo y campaña en el Anexo, Tabla A. 1). El maíz es el principal motor del salto en el período 2021-2025, mientras que el mayor peso relativo del algodón en estos últimos años fue impulsado por la mejora de sus precios internacionales.

Este resultado refleja tanto la consolidación de la tecnología como el efecto de la suba de precios agrícolas internacionales sobre el valor del diferencial tecnológico, que amplifica el beneficio absoluto aun cuando la brecha relativa entre planteos OGM y convencionales se mantenga estable.

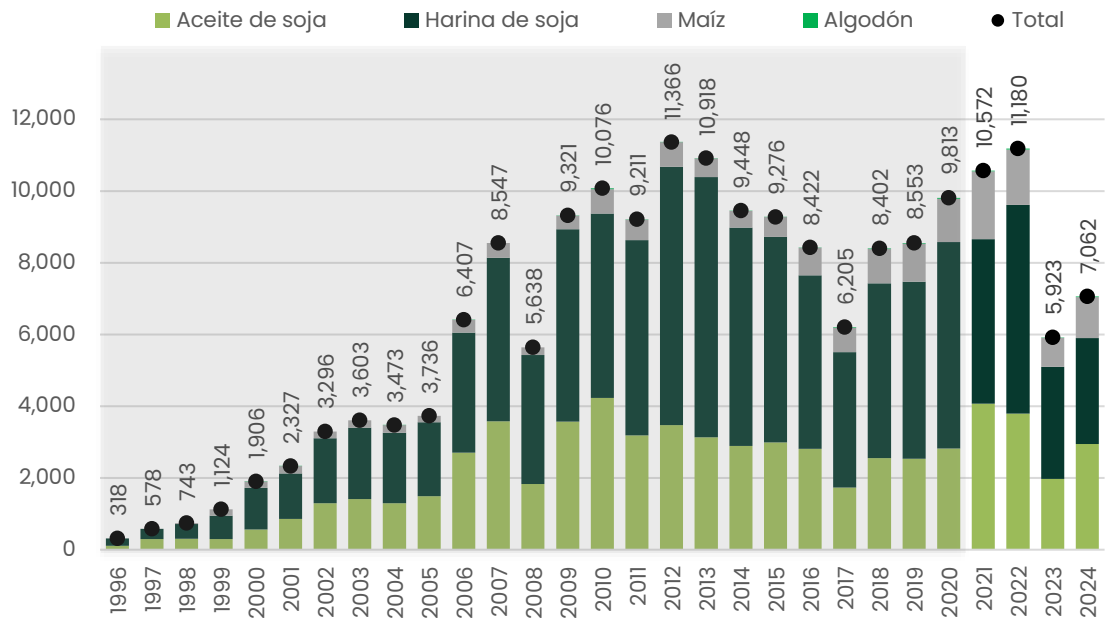
La adopción de tecnologías GM también impacta sobre el valor de las exportaciones argentinas, tanto por el incremento de los volúmenes producidos como por los efectos que la mayor oferta ejerce sobre los precios de venta en los mercados internacionales. Para 2021-2025 se estimó un modelo 3SLS

que separa el efecto cantidad del efecto precio en cada complejo exportador analizado (maíz, aceite de soja, harina de soja, algodón), evitando el sesgo de las estimaciones univariadas.

El crecimiento en exportaciones hasta 2024[6] es de USD 187.400 millones (Figura **10**). En este total se destaca una gran participación de las harinas de soja, que representan el 56,6% del total del crecimiento y, en segundo lugar, del aceite de soja, que representa el 34,6%, es decir, USD 64.800 millones. El maíz, por otro lado, aportó unos USD 16.254 millones adicionales gracias a esta tecnología, de los cuales USD 5.400 millones fueron entre 2021 y 2024, mientras que el algodón totalizó USD 245 millones, cifra relativamente baja dado que se asumió que el crecimiento de la producción se destinó principalmente al consumo de la industria local.

Cabe subrayar que, por su condición de gran exportador, el efecto precio opera en parte como un ajuste de los términos de intercambio: al incrementar la oferta, la Argentina modera su propio precio FOB. El valor exportado adicional aquí reportado ya contempla —y es neto de— ese efecto, de modo que debe interpretarse como una variación del valor de las exportaciones y no como una medida directa de bienestar económico.

Figura 10. Evolución del impacto en las exportaciones de las tecnologías GM durante los 30 años de cultivos GM, en millones de USD



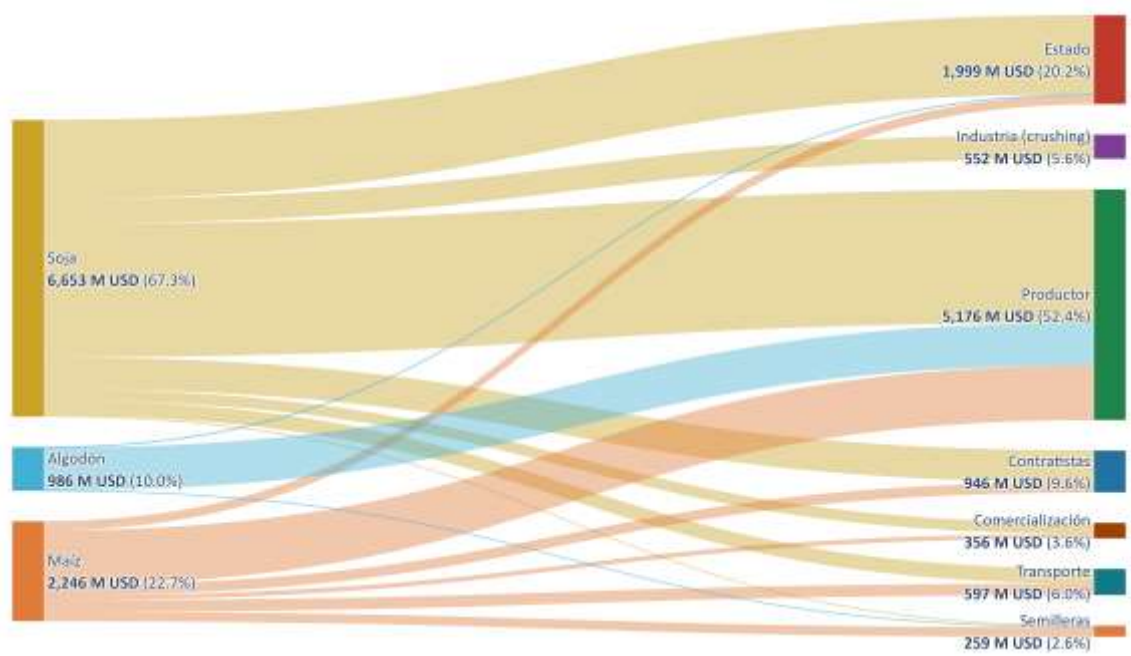
Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Se actualizaron para el período 2021-2024 utilizando un modelo 3SLS.

[6] Se contabiliza hasta 2024 porque es el último período disponible de las exportaciones a la fecha de realización del trabajo.

2.2.1 Distribución de los beneficios

En el promedio 2021-2024, la producción adicional atribuible a los cultivos GM representa un valor bruto de casi USD 9.900 millones por año, repartido entre soja, maíz y algodón. La Figura 11 muestra cómo ese beneficio se distribuye entre cultivos y agentes: el productor, el Estado, los contratistas, la industria aceitera y las semilleras, a los que se suman ahora el transporte y la comercialización, servicios que llevan la producción adicional del lote a la industria o al puerto. El detalle por cultivo y por año, y los parámetros utilizados, están en las Tablas A. 2 a A. 4 del Anexo.

Figura 11. Distribución del excedente de los beneficios de OGM, promedio 2021-2024.



Fuente: Elaboración propia

En el promedio 2021-2024, el productor retiene el 52,4% del beneficio bruto (USD 5.176 millones por año). El Estado capta el 20,2% (USD 1.999 millones) por los derechos de exportación. Los contratistas reciben el 9,6% (USD 946 millones) por cosecha y servicios de implantación. La industria aceitera obtiene el 5,6% (USD 552 millones) como margen de crushing, calculado sobre el beneficio de soja. El transporte absorbe el 6,0% (USD 597 millones), por los fletes del campo al acopio, la industria o el puerto, y la comercialización el 3,6% (USD 356 millones), que incluye la comisión de acopio, el secado, el zarandeo y los aportes paritarios. Las semilleras reciben el 2,6% (USD 259 millones) como prima tecnológica GM; la participación baja refleja el uso mayoritario de semilla propia y de "bolsa blanca"[7] en soja, que abarca aproximadamente el 83,5% del área sembrada.

Con el transporte y la comercialización cambia la lectura de la distribución. Entre ambos absorben el 9,6% del beneficio bruto (USD 953 millones por año), una proporción similar a la de los contratistas, y reducen en casi diez puntos porcentuales la participación del productor, que sin ellos rondaría el 62%.

[7] Con la ley actual, el uso propio es legal, mientras que el de bolsa blanca, no.

El peso es mayor en maíz, donde equivalen al 16,3% del beneficio bruto del cultivo, que en soja, donde representan el 8,8%: el maíz vale menos por tonelada y los costos por tonelada pesan más. En algodón no hay costos unitarios; ambos conceptos se omiten y la participación del productor en ese cultivo es un máximo.

El residual del productor se calcula antes de deducir los costos directos de producción (insumos y labores propias) de las hectáreas incorporadas. No es una utilidad neta: es el valor que queda en manos del productor después de pagar a los demás agentes de la cadena.

Las semilleras captan poco porque predominan la "bolsa blanca" y el uso propio de semilla. Ese dato respalda económicamente la modernización del régimen de propiedad intelectual sobre semillas: si quienes generan la innovación reciben una fracción mínima de la renta que crean, el mercado pierde incentivos para sostener un sistema local de innovación. La actualización del marco de propiedad intelectual es, por lo tanto, una condición para que la próxima generación de tecnologías, como la edición génica y los bioinsumos, encuentre en el país incentivos para desarrollarse.

3 Impactos sobre el uso de recursos y sobre el medio ambiente

Más allá de los beneficios económicos, el proceso de intensificación asociado a las tecnologías GM tuvo efectos sobre el medio ambiente. No todos son atribuibles a la biotecnología en el mismo sentido, y conviene distinguirlos. El uso de agroquímicos depende de los rasgos de los cultivos (tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos) y se compara aquí entre planteos GM y convencionales. Las emisiones y el secuestro de carbono provienen de la siembra directa, que los OGM facilitaron pero que es una práctica del paquete tecnológico, y su atribución descansa en ese supuesto. La reposición de nutrientes, en cambio, es un desafío del sistema de producción: afecta a todos los cultivos, no se calcula por tecnología y se trata en la cuarta parte del informe.

3.1 El uso de agroquímicos

Los agroquímicos son uno de los puntos más discutidos de la agricultura moderna, por su efecto sobre el ambiente y la salud. Esta sección compara el planteo GM con el convencional de soja y de maíz con tres medidas: el ingrediente activo (IA) aplicado por hectárea, el índice de impacto ambiental en campo (EIQ, por su sigla en inglés) y la banda de toxicidad aguda de los productos utilizados.

El IA y el EIQ se calculan con las dosis de cada planteo, que no cambian respecto de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Los valores de referencia del EIQ son los que el College of Agriculture and Life Sciences de la Universidad de Cornell (Cornell CALS) publicó en febrero de 2026. Respecto de la fuente original también se corrigieron algunos cálculos, que las notas de las Tablas A. 5 y A. 6 detallan. Las bandas de toxicidad provienen de la clasificación de peligrosidad de la Organización Mundial de la Salud

(OMS, 2019), que el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA) adopta en la Resolución 302/2012. Esa clasificación ordena los productos según la dosis letal media oral aguda en rata (DL50): clases Ia y Ib para los extremada y altamente peligrosos, II para los moderadamente peligrosos, III para los ligeramente peligrosos y IV para los que normalmente no ofrecen peligro agudo. En el marbete, las clases II, III y IV llevan banda amarilla, azul y verde. La clase oficial corresponde al producto formulado; aquí se estimó con la DL50 del principio activo y su concentración, como propone la OMS (Anexo A2.4). Ningún producto de los planteos analizados es de clase Ia o Ib.

En soja, el planteo GM aplica 3,57 kg de IA por hectárea y el convencional 3,20 kg (+11%); el EIQ en campo es 116,1 contra 110,9 (+4,7%) (Tabla 6). El glifosato explica cerca de tres cuartas partes del EIQ en campo del planteo GM. En maíz, el GM aplica 6,76 kg de IA por hectárea contra 5,40 kg (+25%), y su EIQ en campo es 254,6 contra 199,6 (+27,5%), por las mayores dosis de atrazina y glifosato que acompañan al planteo.

Tabla 6. Comparación del ingrediente activo (IA) aplicado y del EIQ en campo entre planteos GM y convencionales, soja y maíz (valores de referencia Cornell CALS 2026).

Indicador	Soja			Maíz		
	Conv.	GM	GM vs. conv.	Conv.	GM	GM vs. conv.
Volumen e impacto sintético						
IA total (kg por hectárea)	3,20	**3,57**	**+11,4%**	5,40	**6,76**	**+25,3%**
EIQ en campo (Cornell CALS 2026)	110,9	**116,1**	**+4,7%**	199,6	**254,6**	**+27,5%**
Peligrosidad de los productos aplicados						
IA de clase II, banda amarilla (kg por hectárea)	1,36	**0,69**	**−49,2%**	0,84	**0,75**	**−10,8%**
EIQ en campo de productos de clase II	45,8	**22,1**	**−51,8%**	29,4	**23,8**	**−18,9%**
IA de insecticidas (kg por hectárea)	0,116	**0,018**	**−84,4%**	0,090	**0,056**	**−37,8%**
IA con ecotoxicidad alta (kg por hectárea)	0,24	**0,08**	**−68,3%**	0,15	**0,12**	**−21,5%**
IA de clase IV, banda verde (% del total)	55,5%	**80,6%**	**+25,2 p.p.**	33,9%	**34,9%**	**+1,0 p.p.**

Notas: IA: ingrediente activo. Conv.: convencional. GM: genéticamente modificado. Verde: variación favorable al planteo GM. Gris: indicadores de volumen o de impacto sintético, que no ponderan por peligrosidad. Clase: banda de toxicidad aguda del formulado, estimada según la OMS (Anexo A2.4). Ecotoxicidad alta: calificación alta en al menos un organismo (aves, peces, invertebrados acuáticos, algas, abejas o lombrices), según PPDB. Los valores difieren de Tejeda Rodríguez et al. (2021) por los ajustes indicados en las Tablas A. 5 y A. 6. Fuente: Elaboración propia con base en Tejeda Rodríguez et al. (2021), Cornell CALS (2026), OMS (2019) y PPDB (Lewis et al., 2016).

Ni el IA ni el EIQ distinguen entre productos de peligrosidad muy distinta. El EIQ es un índice sintético y cambia mucho cuando se recalifica un solo principio activo (Kniss y Coburn, 2015), y un kilogramo de herbicida de baja toxicidad aguda no pesa igual que un kilogramo de insecticida moderadamente peligroso para el aplicador, las abejas o los organismos acuáticos. Por eso se agrega la composición del IA por banda de toxicidad (Tabla 7 y Figura 12).

En soja, el planteo GM aplica la mitad del IA de clase II, la más peligrosa de las presentes: 0,69 kg por hectárea contra 1,36 kg (−49%). La clase II pasa de 42,5% a 19,4% del IA total, y la clase IV, de 55% a 81%. La diferencia viene de los insecticidas. El planteo GM no usa imidacloprid ni deltametrina, ambos

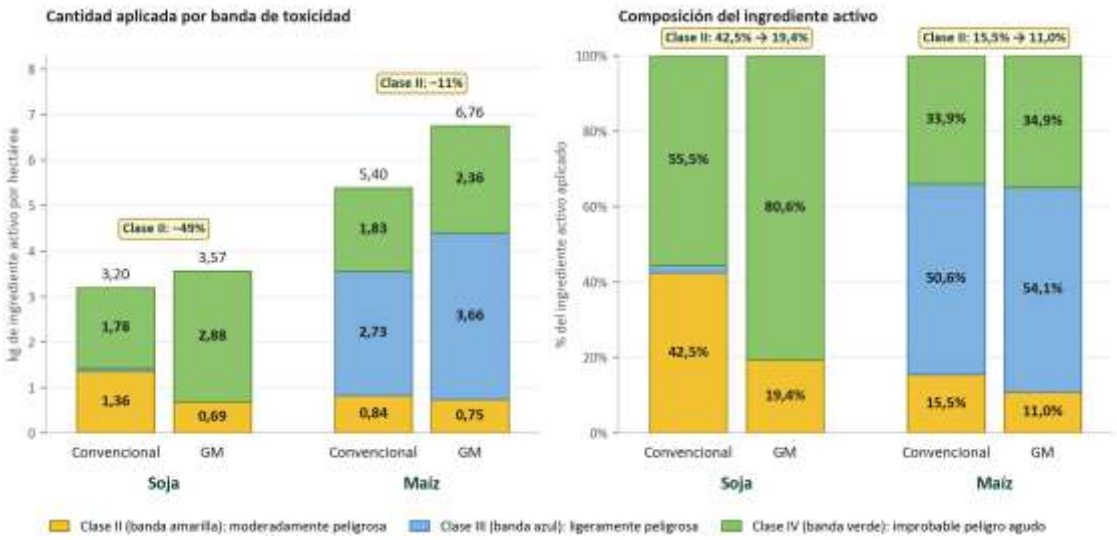
de clase II y de ecotoxicidad alta para abejas y organismos acuáticos, y el IA de insecticidas baja de 0,116 a 0,018 kg por hectárea (−84%). El IA de productos con ecotoxicidad alta en algún organismo cae de 0,24 a 0,08 kg por hectárea (−68%), y el EIQ en campo de los productos de clase II, de 45,8 a 22,1 (−52%).

Tabla 7. Ingrediente activo aplicado por banda de toxicidad y por planteo, soja y maíz (kg por hectárea y % del total).

Banda de toxicidad (clase)	Soja convencional		Soja GM		Maíz convencional		Maíz GM	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
Clase II, banda amarilla (moderadamente peligrosa)	1,36	**42,5%**	**0,69**	**19,4%**	0,84	**15,5%**	**0,75**	**11,0%**
Clase III, banda azul (ligeramente peligrosa)	0,07	**2,0%**	0,00	**0,0%**	2,73	**50,6%**	3,66	**54,1%**
Clase IV, banda verde (improbable peligro agudo)	1,78	**55,5%**	2,88	**80,6%**	1,83	**33,9%**	2,36	**34,9%**
IA total	**3,20**	**100,0%**	**3,57**	**100,0%**	**5,40**	**100,0%**	**6,76**	**100,0%**

Notas: Clase estimada del formulado con la DL50 oral del principio activo (OMS, 2019) y su concentración (Anexo A2.4); la clase oficial figura en el marbete. Los planteos no usan productos de clase Ia ni Ib. Fuente: Elaboración propia con base en Tejeda Rodríguez et al. (2021), OMS (2019) y PPDB (Lewis et al., 2016).

Figura 12. Ingrediente activo aplicado por banda de toxicidad en planteos convencionales y GM de soja y maíz.



Fuente: Elaboración propia con base en Tejeda Rodríguez et al. (2021), OMS (2019) y PPDB (Lewis et al., 2016). Los porcentajes del panel derecho son la participación de cada banda en el IA total del planteo.

En maíz la mejora es menor. El IA de clase II baja de 0,84 a 0,75 kg por hectárea (−11%), su participación, de 15,5% a 11,0%, y el IA con ecotoxicidad alta, de 0,15 a 0,12 kg (−21%). El planteo GM tampoco usa imidacloprid ni deltametrina, lo que concuerda con la protección contra insectos de los eventos con esa característica. El IA adicional del GM corresponde a atrazina (clase III) y glifosato (clase IV); la clase III sube de 2,73 a 3,66 kg por hectárea.

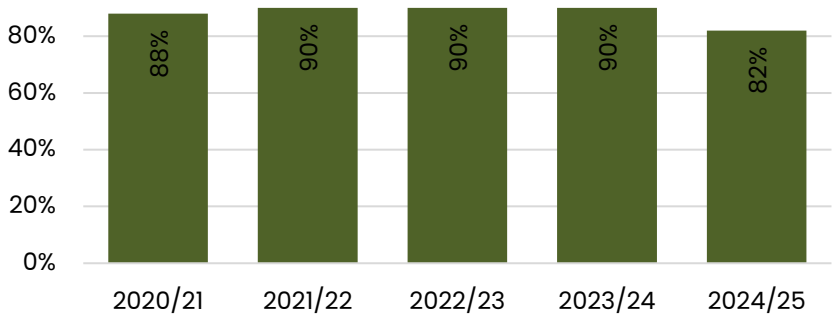
Los planteos GM no reducen el IA ni el EIQ en campo pero sí concentran el IA en productos de menor peligrosidad aguda y evitan los insecticidas de clase II, lo que importa para la salud de los aplicadores y para la fauna no objetivo, dos aspectos que los índices agregados no recogen. La lectura

tiene límites. Las bandas miden toxicidad aguda en mamíferos y no incluyen la exposición ni los efectos crónicos.

3.2 Impacto sobre las emisiones de dióxido de carbono

Considerando el porcentaje de la adopción de siembra directa que se muestra en la Figura 13 para las campañas que completan los 30 años de los cultivos GM, es posible extender la estimación de la reducción de las emisiones de dióxido de carbono (CO_2) para el período 2020-2025, utilizando los mismos coeficientes de emisiones totales que en Tejeda Rodríguez et al. (2021). Los resultados de dichas estimaciones se reportan en la Figura 14.

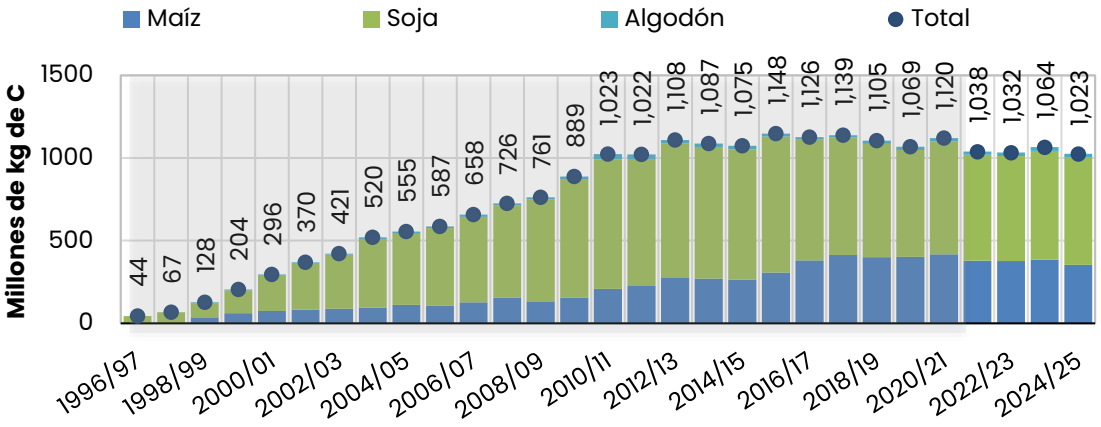
Figura 13. Porcentaje de productores que realizan siembra directa en Argentina entre 2020 y 2025



Fuente: Elaboración propia con base en Bolsa de Cereales, AAPRESID, Red de Manejo de Plagas.

Si se hubieran mantenido los porcentajes de adopción de siembra directa vigentes hasta 1996, las emisiones de dióxido de carbono habrían sido, en promedio para el período 2010-2025, más de 1.079 millones de kg superiores por año, lo que equivale al consumo anual de 234 mil autos (EPA, 2026). A lo largo de los 30 años acumulados, esto habría implicado la liberación al ambiente de más de 22,4 mil millones de kg de CO_2 adicionales (Figura 14), un volumen equivalente al consumo anual de 4,87 millones de autos particulares.

Figura 14. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible 1996-2025 (millones de kg)

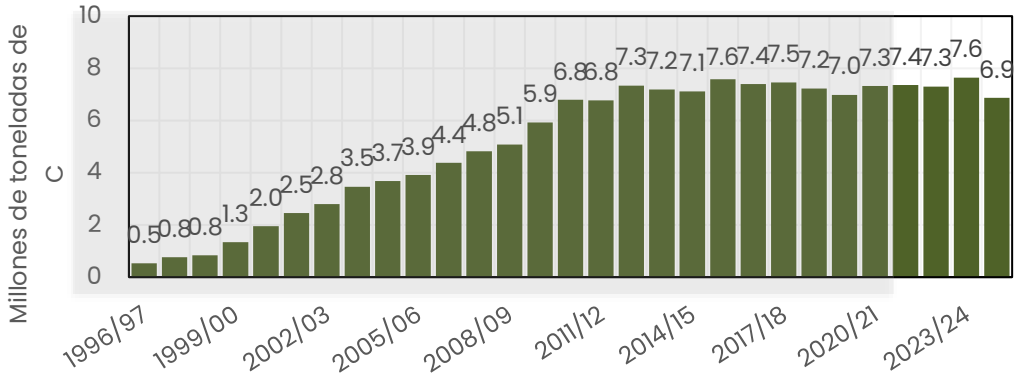


Fuente: Elaboración propia con base en Bolsa de Cereales, AAPRESID, Red de Manejo de Plagas. Nota: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021).

3.3 Impacto por secuestro de carbono

Bajo el supuesto de que el uso de siembra directa fue facilitado por la adopción de cultivos OGM, y que tiene un impacto de 0,3 tn/ha por año de acumulación de carbono orgánico en suelo (COS) en relación con el sistema de siembra tradicional, el incremento del COS es de 7,3 millones de toneladas promedio entre 2020 y 2025; y en el acumulado de las últimas 30 campañas esto totaliza 150,3 millones de toneladas. En la Figura 15 se muestran las estimaciones de ahorro de emisiones de dióxido de carbono durante los 30 años.

Figura 15. Ahorro de emisiones de dióxido de carbono (CO_2) por secuestro de carbono (COS) 1996-2025 (millones de toneladas)



Nota: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021).
Fuente: Elaboración propia.

Para dimensionar estas cifras, conviene ponerlas en relación con las emisiones totales de gases de efecto invernadero (GEI) del país. Expresado en dióxido de carbono equivalente (CO_2eq.) —aplicando el factor de conversión de carbono a CO_2 (44/12)—, los 7,3 millones de toneladas de carbono incorporadas anualmente al suelo entre 2020 y 2025 equivalen a unos 26,8 millones de toneladas de CO_2, un volumen cercano al 7% de las emisiones totales de GEI de Argentina —aproximadamente 366 millones de toneladas de CO_2 eq. por año, según la línea de base de 2018 reportada en la actualización de la Contribución Nacionalmente Determinada de Argentina (NDC, por su sigla en inglés) (MAyDS, 2021)—. Al acumulado de los 30 años, los 150,3 millones de toneladas de carbono secuestradas equivalen a cerca de 551 millones de toneladas de CO_2, un volumen similar a lo que el país emite en poco más de un año y medio de actividad total, no solo agropecuaria.

Este balance de carbono capta el efecto de la siembra directa sobre la superficie ya cultivada y no descuenta las emisiones asociadas al cambio de uso del suelo derivado de la expansión de la frontera agrícola hacia regiones extrapampeanas, que libera stocks de carbono previamente inmovilizados. Ese componente —de signo opuesto— excede el alcance de la presente estimación y requeriría un balance

específico. En consecuencia, las cifras de secuestro y de menor emisión aquí reportadas deben entenderse referidas al efecto del manejo sobre el área en producción, y no como el balance neto de carbono del conjunto del proceso de expansión agrícola.

4 Comentarios finales: treinta años de innovación y los desafíos de una nueva etapa[8]

Treinta años constituyen una perspectiva suficientemente extensa para distinguir los efectos coyunturales de las transformaciones estructurales. La aprobación de la soja tolerante a herbicidas mediante la Resolución 167/1996 no permitió solamente la introducción de una nueva variedad. Abrió un ciclo de cambio tecnológico que alteró los costos y los márgenes de producción, aceleró la adopción de la siembra directa, amplió la escala de las operaciones y reorganizó las relaciones entre productores, proveedores de insumos, contratistas, industria y exportación.

La evidencia reunida en este informe confirma que el balance económico y productivo del proceso fue ampliamente positivo. La adopción de cultivos GM generó beneficios relevantes para los productores, amplió el área económicamente cultivable, fortaleció las exportaciones y contribuyó a consolidar un complejo agroindustrial de escala internacional. También permitió construir capacidades regulatorias y de evaluación de riesgo reconocidas más allá del país. En ese sentido, la experiencia argentina constituye uno de los casos más significativos de adopción temprana y masiva de una innovación agrícola (Tejeda Rodríguez et al., 2021).

Sin embargo, el propio análisis muestra que ese balance no puede reducirse a una narrativa lineal de éxito. La ventaja económica de algunas tecnologías se modificó con el tiempo; la aparición de malezas resistentes obligó a esquemas de manejo más complejos; el régimen de propiedad intelectual no logró alinear de manera adecuada la generación y la apropiación del valor; y la expansión productiva no estuvo acompañada por una reposición equivalente de los nutrientes extraídos, una falla del sistema de producción y no de la tecnología. Los indicadores ambientales, además, deben interpretarse diferenciando los efectos atribuibles a los eventos GM de aquellos que corresponden al paquete tecnológico, al manejo agronómico y a la expansión territorial.

La primera enseñanza es, por lo tanto, que una innovación conserva su capacidad transformadora solamente cuando evoluciona junto con las instituciones, las prácticas productivas y los incentivos que la rodean. La regulación temprana fue una infraestructura decisiva para la adopción, pero no bastó por sí sola para sostener el liderazgo. La productividad generó valor, pero ese valor no se distribuyó de

[8] Esta sección integra un balance de los treinta años con una lectura prospectiva sobre la transformación agrobioindustrial, las capacidades de ciencia, tecnología e innovación y las condiciones institucionales necesarias para la próxima etapa.

manera equilibrada entre los actores. La siembra directa aportó beneficios de manejo y carbono sobre la superficie cultivada, pero no elimina la necesidad de considerar el cambio de uso del suelo, la rotación de cultivos ni la reposición de nutrientes.

La segunda enseñanza es que los OGM no actuaron como una tecnología aislada. Funcionaron como una tecnología habilitante dentro de un sistema compuesto por genética, maquinaria, insumos, servicios, conocimiento agronómico, regulación y organización empresarial. Por eso, el legado de estos treinta años no reside únicamente en los eventos aprobados o en los rendimientos obtenidos. Reside en haber demostrado que la articulación entre ciencia, regulación, empresas y productores puede modificar estructuralmente la trayectoria de un sistema agroalimentario.

4.1 De la innovación tecnológica a la transformación agrobioindustrial

El reciente y revelador trabajo de Bisang y Felici (2026) permite ampliar esta interpretación. La transformación no se detuvo en la producción primaria ni en la incorporación de conocimiento a la semilla. Durante las últimas décadas comenzaron a consolidarse organizaciones que integran producción de biomasa, investigación, transformación industrial, servicios especializados, plataformas digitales, logística, financiamiento y acceso a mercados. Los autores denominan empresas agrobioindustriales a estas configuraciones que desdibujan las fronteras tradicionales entre agricultura, industria y servicios.

Esta categoría es útil porque permite comprender que la bioeconomía no consiste simplemente en producir más biomasa o en sustituir insumos fósiles por recursos renovables. Supone construir capacidades para convertir recursos biológicos en alimentos diferenciados, bioenergías, biomateriales, bioinsumos, ingredientes funcionales, productos químicos y servicios ambientales. El valor se desplaza progresivamente desde el volumen físico producido hacia el conocimiento incorporado en los procesos, los activos biológicos, los datos, la propiedad intelectual y la capacidad de coordinar cadenas complejas.

Los cultivos GM contribuyeron a esta trayectoria, pero no deben presentarse como su causa única ni como una evolución inevitable. La bioeconomía también se nutre de la microbiología industrial, la genética convencional, la fermentación, la química verde, la economía circular, la digitalización y múltiples procesos de innovación. La experiencia con OGM tuvo, no obstante, un papel relevante: permitió acumular capacidades regulatorias, empresariales, científicas y organizacionales que hoy pueden utilizarse para avanzar hacia aplicaciones más diversificadas y de mayor valor agregado.

Esta perspectiva modifica el debate histórico entre producción primaria e industrialización. La creación de valor no depende exclusivamente de procesar localmente una materia prima mediante instalaciones convencionales. También depende de la capacidad para diseñar soluciones biológicas, gestionar información, desarrollar plataformas tecnológicas, proteger activos intangibles y acceder a mercados especializados. Una semilla, un microorganismo, una plataforma de datos o un residuo agroindustrial pueden constituir el punto de partida de cadenas intensivas en ciencia y servicios.

Para la Argentina, la cuestión central ya no es únicamente si existen empresas capaces de operar bajo esta lógica, sino cuántas son, qué modelos de negocios desarrollan, dónde se localizan, cómo se relacionan con el sistema científico y cuáles son sus restricciones de crecimiento. También resulta necesario conocer sus impactos sobre el empleo calificado, el desarrollo territorial, las exportaciones y la formación de nuevas capacidades. La caracterización rigurosa de este universo constituye una condición para diseñar instrumentos que promuevan innovación sin distorsionar la competencia ni seleccionar artificialmente ganadores.

4.2 Capacidades científicas y tecnológicas para la próxima etapa

La frontera tecnológica que se configura es más amplia y acelerada que la de 1996. La edición génica, la biología sintética, las ciencias ómicas, la agricultura digital, la automatización, la bioinformática y la inteligencia artificial están modificando simultáneamente la investigación, la producción, el procesamiento y la comercialización. Su potencial no reside solamente en cada tecnología por separado, sino en la convergencia entre biología, datos y capacidades de ingeniería (Chen et al., 2019; Mackelprang y Lemaux, 2020).

La Argentina cuenta con activos importantes para participar en este proceso: instituciones científicas con trayectoria, capacidades regulatorias reconocidas, recursos humanos especializados, empresas tecnológicas y productores con elevada propensión a adoptar innovaciones. Sin embargo, la existencia de capacidades no equivale automáticamente a la conformación de un sistema eficaz. El desafío está en su articulación, continuidad, financiamiento y capacidad para transformar conocimiento en soluciones escalables.

Un diagnóstico útil de la ciencia, la tecnología y la innovación agropecuarias debería considerar al menos cinco dimensiones. La primera es la localización y calidad de las capacidades existentes en universidades, INTA, INTI, CONICET, organismos regulatorios, empresas y centros privados. La segunda es la intensidad de los vínculos entre investigación y producción: proyectos conjuntos, licenciamiento, transferencia tecnológica, incubación y movilidad de recursos humanos. La tercera es el financiamiento de las distintas etapas que separan una idea científica de su validación, aprobación regulatoria y llegada al mercado. La cuarta dimensión corresponde al talento y la infraestructura. Las nuevas plataformas requieren especialistas capaces de combinar agronomía, biología, programación, estadística e ingeniería, así como acceso a laboratorios, secuenciación, fenotipado, cómputo, datos de calidad y redes internacionales. La quinta es la gobernanza: qué mecanismos pueden coordinar capacidades dispersas, evitar duplicaciones y sostener prioridades más allá de los ciclos institucionales y presupuestarios.

En este marco, la discusión no debería reducirse al volumen agregado de inversión en investigación y desarrollo. También debe examinar dónde se interrumpe el proceso de innovación, qué conocimiento logra llegar a la producción, qué proyectos quedan detenidos antes del escalamiento y qué condiciones enfrentan las empresas de base científico-tecnológica. El problema no es solamente generar

conocimiento, sino construir mecanismos estables para validarlo, financiarlo, transferirlo, regularlo y capturar localmente una parte significativa del valor que produce.

La próxima etapa requerirá, además, nuevas métricas. Los indicadores tradicionales de área, producción, exportaciones o inversión resultan insuficientes para medir la densidad de las redes de conocimiento, la creación y supervivencia de empresas tecnológicas, el tiempo de llegada al mercado, la capacidad de atraer capital, la formación de talento o los impactos territoriales de la bioeconomía. Sin sistemas de información adecuados, la formulación de políticas y estrategias corre el riesgo de apoyarse más en percepciones que en evidencia.

4.3 La reposición de nutrientes: un desafío del sistema de producción

Los cálculos de esta sección corresponden a todos los cultivos extensivos del país y reflejan las prácticas de fertilización del sistema de producción. No son un resultado de la adopción de OGM y no se imputan a la biotecnología. Se presentan entre los desafíos de la próxima etapa porque condicionan la sostenibilidad de la productividad del conjunto del sistema.

La expansión de la agricultura descripta hasta ahora, en la que la soja ocupó un lugar central, tuvo efectos sobre la situación de los suelos argentinos. La soja es el componente más importante, ya que no solo explica la mayor parte de los beneficios brutos acumulados (87%), sino que también explica la mayor parte de la expansión de área y producción del período. Sin embargo, ese mismo cultivo es el que presenta la menor reposición de nutrientes de todo el sistema productivo: al no fertilizarse habitualmente con nitrógeno y depender en gran medida de la fijación biológica, la soja concentra buena parte del déficit que arrastra el balance de nutrientes a nivel nacional. A esto se suma que la soja extrae nutrientes por encima de lo que su participación en la producción física explicaría. Mientras representa alrededor de la mitad de la producción granaria del país, concentra más del 80% de la extracción nacional de potasio y calcio, y cerca de dos tercios de la de nitrógeno y fósforo, lo que agrava aún más su incidencia relativa en el déficit agregado. Esta diferencia se explica en gran medida por la lógica de manejo del cultivo, ya que al no fertilizarse habitualmente con nitrógeno y asumirse que el 60% de este nutriente proviene de la fijación biológica, la soja estructuralmente presenta niveles de reposición inferiores a los de otros cultivos extensivos (6% en soja frente a 39% en maíz, según Fertilizar AC, 2025).

El trigo, en cambio, exhibe los mayores niveles de reposición del sistema, en parte porque la fertilización de base aplicada para el doble cultivo trigo-soja de segunda queda contabilizada dentro del balance de trigo.

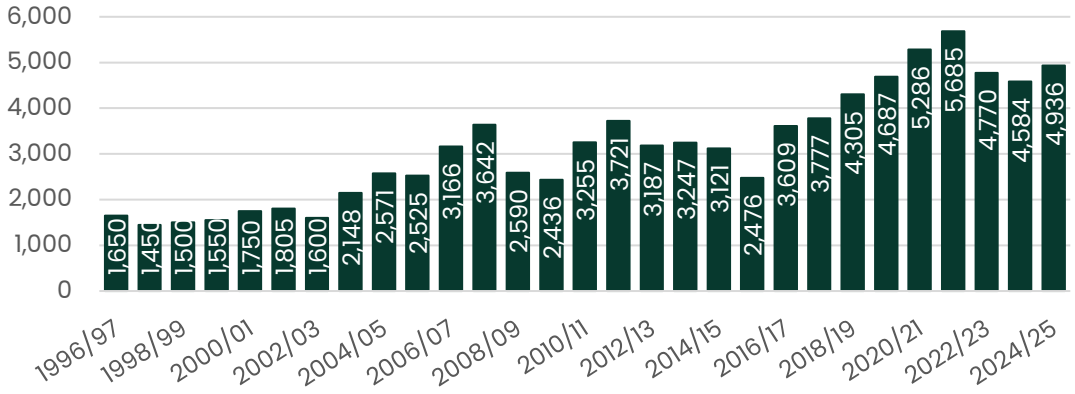
El maíz, por su parte, se ubica en una posición intermedia. Esta heterogeneidad entre cultivos refuerza la idea de que la falta de reposición no es un fenómeno inherente a la biotecnología, sino a las prácticas de fertilización asociadas a cada cultivo, con la salvedad de que, dado el peso de la soja en el área sembrada total, su bajo nivel de reposición termina traccionando el balance agregado del país.

Aun cuando la reposición mejoró en las últimas campañas (alcanzando 80% en nitrógeno en promedio a nivel país entre 2021 y 2025, 90% en fósforo y apenas 33% en azufre), el balance continúa siendo deficitario. Esta falta de reposición condiciona la sostenibilidad de los rendimientos del sistema en su conjunto: una parte del crecimiento productivo de las últimas décadas se sostuvo con un uso no compensado de la fertilidad del suelo, es decir, con una descapitalización del recurso suelo que no se contabiliza en las estimaciones económicas del informe.

Evaluar el balance de nutrientes y el valor de la falta de reposición permite, por lo tanto, dimensionar un pasivo del sistema de producción. El paquete tecnológico, junto con la intensificación y la expansión del área, permitió alcanzar mayores rendimientos, pero ese salto no estuvo acompañado, en la misma magnitud, por una reposición adecuada de los nutrientes extraídos. Ese pasivo no se descuenta de los beneficios de la adopción de OGM calculados en este informe, porque no es un efecto de la biotecnología.

En la Figura 16 se muestra la evolución en el consumo de fertilizantes en Argentina desde 1996 hasta la actualidad. Entre 1996 y 2006, el consumo de fertilizantes agregado no llegaba a los 2 millones de toneladas promedio anuales. Sin embargo, el promedio fue notablemente mayor durante el decenio posterior. Entre 2006 y 2016, el consumo de fertilizantes en promedio fue de 3,1 millones de tn y en los últimos 10 años el promedio casi llega a los 4,5 millones de tn.

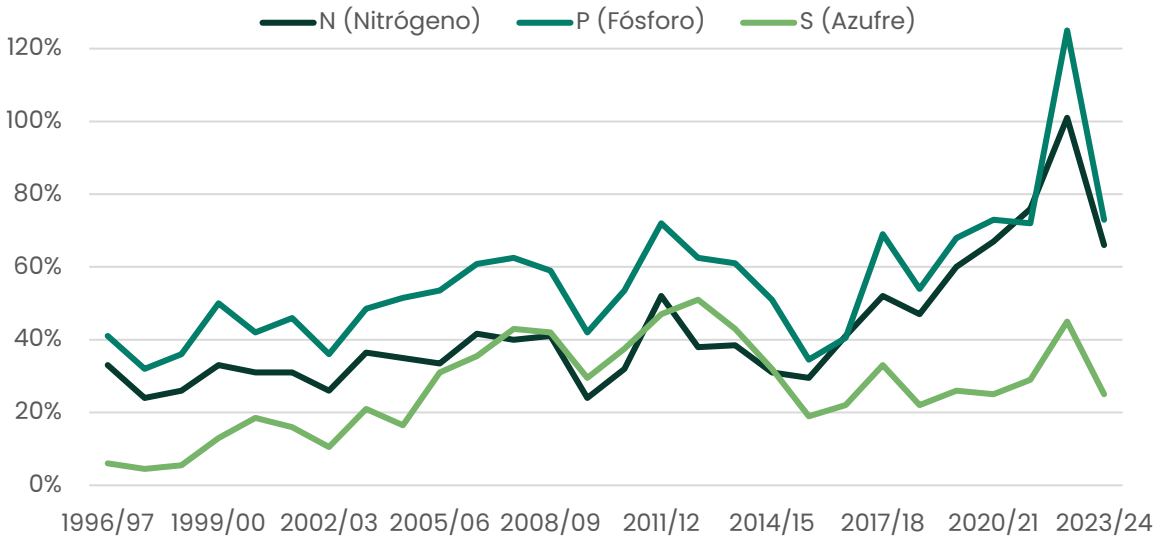
Figura 16. Consumo de fertilizantes desde 1996, en miles de tn



Fuente: Elaboración propia con datos de Fertilizar AC.

En la Figura 17 se muestran los porcentajes de reposición de nutrientes en Argentina, por tipo de componente químico desde 1996, sin discriminación por cultivos. El nivel de reposición es bastante heterogéneo entre nutrientes, aunque creciente.

Figura 17. Evolución del porcentaje de reposición de nutrientes en suelos argentinos desde 1996, por nutriente



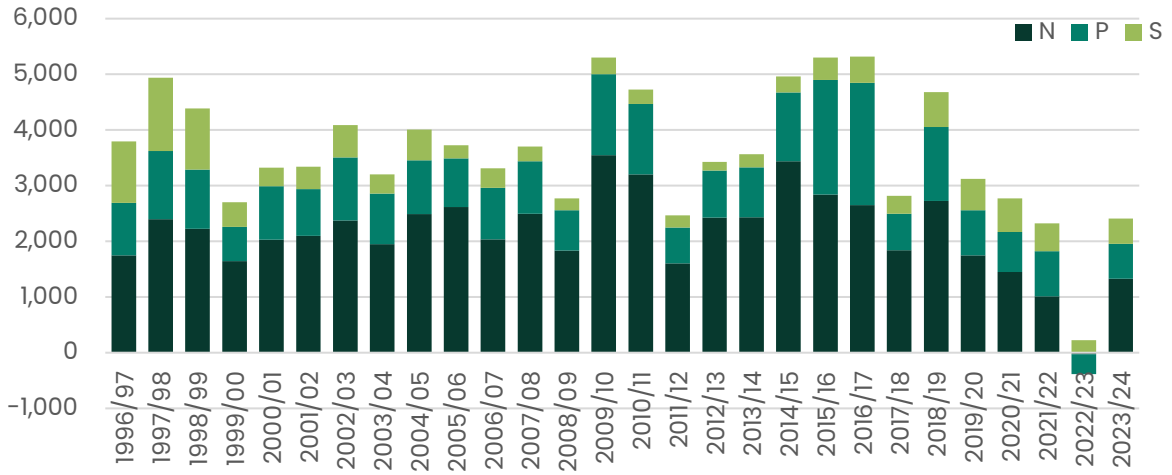
Fuente: Elaboración propia con datos de Fertilizar, Bolsa de Cereales, García y González Sanjuán (2013), González Sanjuán, Grasso y Bassi (2013).

El azufre es sistemáticamente el que exhibe el menor porcentaje de reposición de los tres nutrientes, reflejando que su incorporación vía fertilización quedó rezagada frente al ritmo de extracción de los cultivos. El nitrógeno y el fósforo se ubican en niveles de reposición más altos, aunque igualmente por debajo del 100% en la mayor parte de las campañas. Es decir, año tras año el suelo pierde más nutrientes de los que se le devuelven. La excepción se observa en la campaña 2022/23, marcada por la sequía severa que deprimió los rindes y, con ellos, la extracción de nutrientes. Al caer la extracción más que proporcionalmente que el consumo de fertilizantes, los porcentajes de reposición de nitrógeno y fósforo se ubicaron transitoriamente por encima del 100%.

A partir de esos porcentajes de reposición y las cantidades consumidas de fertilizantes de Argentina —por componente químico—, se calcularon las cantidades de nutrientes que faltó reponer, correspondientes a todos los cultivos de Argentina por año desde 1996 hasta la fecha, sin discriminar a los cultivos biotecnológicos.

En la Figura 18 se observa que el mayor déficit de los 30 años fue el de nitrógeno (N). Sin embargo, el aumento del consumo de fertilizantes y la mayor intensificación productiva desde 2016 redujeron de manera notable el faltante, sobre todo de nitrógeno y, en menor medida, de fósforo; el azufre, en cambio, siguió rezagado. Como ya se señaló, la campaña 2022/23 es una excepción que debe leerse con cautela.

Figura 18. Faltante de nutrientes en los suelos argentinos desde 1996, en miles de tn.



Fuente: Elaboración propia con datos de Fertilizar, CIAFA, Bolsa de Cereales, García y González Sanjuán (2013), González Sanjuán, Grasso y Bassi (2013).

La estimación del valor de la falta de reposición por año, por nutriente y del total para el período de 30 años se muestra en la Tabla 8. En promedio, la falta de reposición se valuó en algo más de mil millones de dólares anuales, siendo menor durante 1996-2007 por efecto de los bajos precios de los fertilizantes y no por las cantidades faltantes, que eran claramente mayores.

Tabla 8. Estimaciones del valor acumulado de la falta de reposición de nutrientes en Argentina por todos los cultivos.

Campaña	Valor del faltante (en millones USD) de:			Valor Total de faltante (millones USD)	Valor Total de faltante Acumulado (millones USD)
	N	P	S		
1996/97	367	241	127	735	735
1997/98	395	294	125	814	1.549
1998/99	256	244	83	583	2.132
1999/00	172	114	29	315	2.447
2000/01	274	168	25	467	2.914
2001/02	293	160	32	486	3.400
2002/03	325	202	62	589	3.988
2003/04	324	181	40	544	4.533
2004/05	591	240	102	933	5.465
2005/06	754	242	49	1.045	6.511
2006/07	504	270	65	839	7.349
2007/08	828	442	65	1.334	8.684
2008/09	1.326	742	99	2.167	10.851
2009/10	1.091	503	91	1.684	12.535
2010/11	1.044	620	65	1.728	14.263
2011/12	727	417	75	1.220	15.483
2012/13	1.127	495	55	1.677	17.160
2013/14	958	450	74	1.482	18.642
2014/15	1.227	616	73	1.916	20.558
2015/16	885	1.004	98	1.987	22.545
2016/17	606	795	102	1.503	24.048
2017/18	462	242	60	765	24.813

Campaña	Valor del faltante (en millones USD) de:			Valor Total de faltante (millones USD)	Valor Total de faltante Acumulado (millones USD)
	N	P	S		
2018/19	826	586	123	1.535	26.348
2019/20	526	312	109	947	27.295
2020/21	391	237	107	734	28.029
2021/22	475	507	140	1.122	29.151
2022/23	-21	-373	112	-283	28.868
2023/24	546	375	147	1.068	29.937
2024/25	309	188	93	590	**30.527**
Total 1996-2025	**17.589**	**10.512**	**2.425**	**30.527**	

Notas: Los precios utilizados corresponden al valor implícito de importación de Urea (HS3102.10), MAP y DAP (HS3105.40) y Sulfato de amonio (NCM 3102.21), fertilizante de mayor uso como fuente de S en la región pampeana (Torres Duggan, 2010). Las cantidades consumidas de fertilizantes (Fertilizar AC) están expresadas en toneladas de producto comercial, agrupadas por nutriente principal (nitrogenados, fosfatados y azufrados). El porcentaje de reposición de cada nutriente es el cociente entre el nutriente aplicado y el extraído por los cultivos. Como ese cociente es el mismo para el nutriente y para el producto que lo contiene, el faltante en toneladas de producto equivalente surge de multiplicar el consumo de cada grupo por (1 − reposición) / reposición, sin convertir nuevamente por el contenido de nutriente. Ese faltante se valúa al precio implícito de importación del producto de referencia (Urea para N, MAP/DAP para P y Sulfato de amonio para S), siguiendo el criterio de valorización por costo de reposición de Pengue (2009). El cálculo supone que el contenido promedio de nutriente de cada grupo es similar al del producto de referencia (Urea: 46% de N; MAP: 52% de P_2O_5, equivalente a 22,7% de P; Sulfato de amonio: 24% de S). El orden de magnitud resultante es consistente con estimaciones independientes del balance de nutrientes en la Argentina (Fertilizar AC, 2025; García y González Sanjuán, 2013). Para la campaña 2024/25 se suponen porcentajes de reposición idénticos al promedio de las cuatro campañas anteriores (2020/21 a 2023/24).

A lo largo de los 30 años faltó reponer nutrientes por un valor del orden de USD 30.527 millones (total acumulado) correspondiente a todos los cultivos extensivos. Dicho de otra manera, es el valor de la descapitalización del suelo por falta de reposición.

La soja es el cultivo que más incide en ese déficit, pero no es la única responsable, y la falta de reposición responde a las prácticas de fertilización del sistema y no a la tecnología de los cultivos. Por eso el monto acumulado no se imputa a la biotecnología ni se resta de los beneficios estimados en la segunda parte del informe. La valorización, del orden de USD 30.500 millones en treinta años (algo más de USD 1.000 millones por campaña en promedio), se calculó a precios implícitos de importación y sin descontar, y debe leerse como un orden de magnitud. Ese orden de magnitud es coherente con las estimaciones independientes, que ubican el costo de reponer los nutrientes extraídos en las últimas tres décadas en torno a los USD 30.000 millones (Fertilizar AC, 2025) y el déficit anual reciente en aproximadamente USD 1.148 millones (Semadeni y Pisani Claro, 2026); la estimación propia para 2023/24 es de unos USD 1.070 millones. Solo como referencia de escala, ese pasivo equivale a cerca del 15% de los beneficios brutos acumulados de la adopción de OGM (del orden de USD 197.500 millones), pero la comparación mezcla un pasivo de stock, la fertilidad del suelo no repuesta, con un flujo de beneficios de una tecnología específica, y no mide el efecto de esta. Lo que muestra es la magnitud de un

desafío que el sistema de producción debe atender con prácticas de manejo, incentivos y sistemas de medición adecuados: la reposición hoy mejora, pero sigue siendo deficitaria.

4.4 Sostenibilidad, regulación e inserción internacional

La nueva frontera tecnológica no reemplaza los problemas pendientes del sistema productivo y de la primera generación de innovación. La sostenibilidad productiva, la reposición de nutrientes, el manejo integrado de resistencias, la salud de los suelos y la reducción de impactos ambientales seguirán condicionando la capacidad de mantener productividad y acceso a mercados. El desarrollo de nuevas tecnologías deberá evaluarse, por lo tanto, no solamente por su rendimiento económico inmediato, sino también por su contribución a la resiliencia y a la conservación del capital natural.

El balance de nutrientes presentado en el apartado anterior es particularmente ilustrativo. La intensificación productiva permitió generar beneficios de gran magnitud, pero también acumuló un pasivo asociado a la extracción no compensada de nutrientes en el suelo. Ese déficit no es inherente a los OGM y no corresponde imputarlo a la biotecnología, sino al sistema de producción. Demuestra, sin embargo, que los avances tecnológicos pueden perder sostenibilidad cuando no se acompañan con prácticas agronómicas, incentivos y sistemas de medición adecuados.

La regulación seguirá siendo otra infraestructura central. En este sentido, la trayectoria del marco regulatorio argentino, así como el enfoque pionero adoptado frente a la edición génica, constituyen activos significativos. El marco regulatorio fue capaz no solo de posibilitar el inicio del ciclo, sino, y quizás esto sea lo más importante, de acompañar su evolución. El desafío será mantener rigor científico y previsibilidad, al tiempo que se reducen demoras innecesarias y se coordinan las decisiones nacionales con los mercados de destino, en un escenario de mucha mayor complejidad tecnológica. También será necesario revisar el régimen de propiedad intelectual sobre semillas y otros activos biológicos, buscando un equilibrio entre incentivos a la innovación, competencia, acceso y desarrollo de capacidades locales.

Estas decisiones se adoptarán en un entorno internacional más fragmentado que el de las décadas previas. La competencia estratégica entre potencias, la seguridad alimentaria y energética, el control de tecnologías críticas, los estándares ambientales y la gobernanza de los datos están adquiriendo creciente relevancia. La agricultura y la bioeconomía ya no son solamente sectores de comercio: forman parte de las estrategias de autonomía tecnológica, seguridad y posicionamiento internacional de los países (Piñeiro y Trigo, 2026).

Para la Argentina, esto implica complementar la competitividad exportadora con una estrategia de inserción científica y tecnológica. Será necesario participar en la construcción de estándares, desarrollar alianzas de investigación, acceder a infraestructuras y redes globales, y fortalecer la cooperación regional. Brasil es al mismo tiempo competidor, socio y referencia ineludible; Estados Unidos, la Unión Europea y China concentran capacidades, mercados y marcos normativos que condicionarán la evolución

del sector. El Mercosur y América Latina pueden constituir espacios de armonización regulatoria, investigación compartida y desarrollo de plataformas regionales.

La geopolítica no debería incorporarse como una reflexión separada del análisis productivo. Debe traducirse en preguntas concretas: qué tecnologías resultan críticas, qué dependencias externas son aceptables, qué alianzas aumentan la capacidad de negociación, cómo se protegen y utilizan los datos productivos y genéticos, y de qué manera la Argentina puede participar en cadenas de valor intensivas en conocimiento sin quedar limitada al suministro de biomasa.

4.5 Una agenda estratégica abierta para los próximos treinta años

La principal conclusión prospectiva no es que exista una trayectoria predeterminada hacia la bioeconomía. Es que la Argentina dispone de activos relevantes cuya combinación puede abrir una nueva etapa, siempre que logre organizar capacidades, corregir brechas e identificar prioridades. La velocidad del cambio tecnológico hace improbable que esas definiciones puedan surgir de decisiones aisladas del Estado, las empresas o el sistema científico.

Será necesario construir espacios estables de producción de evidencia, diálogo y coordinación entre empresas semilleras y agrobioindustriales, productores, organizaciones sectoriales, universidades, organismos de investigación, reguladores, inversores y agencias internacionales. Estos espacios deberían evitar tanto la lógica de la promoción genérica como la captura por intereses particulares. Su función sería construir diagnósticos compartidos, evaluar alternativas, anticipar riesgos y acordar hojas de ruta con responsabilidades verificables.

En lugar de una lista cerrada de recomendaciones, la experiencia de estos treinta años permite formular una agenda de preguntas cuya respuesta requerirá investigación aplicada, análisis comparado, construcción de indicadores y procesos de articulación entre actores.

Tabla 9. Preguntas estratégicas para la próxima etapa

Dimensión	Pregunta orientadora
Empresas agrobioindustriales	¿Qué modelos de empresa están emergiendo, cuáles son sus restricciones de escalamiento y qué efectos generan sobre innovación, empleo, territorio y exportaciones?
Capacidades de CTI	¿Qué capacidades científicas y tecnológicas (CTI) posee realmente el país, dónde se localizan y en qué etapas se interrumpe la conversión de conocimiento en innovación?
Financiamiento y transferencia	¿Qué instrumentos pueden cubrir la brecha entre investigación, prueba de concepto, validación, regulación, inversión y llegada al mercado?
Regulación y propiedad intelectual	¿Qué marcos permiten promover la innovación, proteger activos intangibles y mantener competencia, acceso y previsibilidad internacional?
Sostenibilidad productiva	¿Cómo integrar reposición de nutrientes, salud de suelos, manejo de resistencias, trazabilidad y reducción de impactos en la evaluación tecnológica?
Inserción regional y global	¿Qué alianzas, estándares y estrategias de cooperación necesita la Argentina para participar en cadenas de conocimiento, tecnología y biomasa de mayor valor?

Gobernanza del ecosistema	¿Qué mecanismos pueden coordinar de manera estable al sistema científico, las empresas, los reguladores, los productores y los inversores?

Nota: las preguntas sintetizan líneas de análisis, medición, prospectiva y coordinación que surgen del análisis desarrollado en el informe.
Fuente: Elaboración propia.

La respuesta a estas preguntas no requiere necesariamente crear nuevas instituciones. En muchos casos será más eficaz fortalecer capacidades existentes, mejorar la interoperabilidad de la información, ordenar incentivos y construir mecanismos de cooperación por objetivos. La agenda debería combinar una visión nacional con análisis sectoriales y territoriales, porque las oportunidades y restricciones de la bioeconomía no son homogéneas entre regiones, cadenas o tecnologías.

También será importante establecer prioridades. La amplitud de la bioeconomía puede convertirla en una categoría demasiado general si no se identifican plataformas, capacidades y mercados concretos. La selección debería apoyarse en evidencia sobre ventajas científicas y productivas, potencial de escalamiento, contribución ambiental, demanda internacional y posibilidad de capturar valor en el país.

4.6 El verdadero legado y la oportunidad

Visto desde esta perspectiva, los primeros treinta años de cultivos GM no constituyen solamente una historia de adopción exitosa. Representan un aprendizaje sobre cómo se construye —y cómo puede erosionarse— una ventaja tecnológica. La Argentina combinó ciencia, regulación, capacidades empresariales y rápida adopción productiva. Esa combinación generó valor, transformó organizaciones y amplió la inserción internacional. También dejó problemas pendientes que deben ser incorporados a la próxima etapa.

El principal legado no consiste en haber demostrado que una tecnología particular podía generar transformaciones significativas. Consiste en haber mostrado que el conocimiento, cuando se integra con instituciones y capacidades productivas, puede convertirse en un factor estructural de competitividad. Esa experiencia será determinante en la nueva frontera científico-tecnológica, que será más compleja porque combinará tecnologías biológicas, digitales y organizacionales, y porque se desarrollará en un contexto de mayores exigencias ambientales y competencia geopolítica.

La Argentina llega a esta etapa con fortalezas significativas, pero esas fortalezas no garantizan el liderazgo futuro. Será necesario conocer con mayor precisión las capacidades disponibles, identificar sus brechas, caracterizar las nuevas organizaciones empresariales, construir métricas, evaluar escenarios y acordar una agenda compartida entre los actores del sistema. La tarea central de los próximos años será transformar activos dispersos en una estrategia coherente de innovación, sostenibilidad y posicionamiento internacional.

El desafío ya no consiste solamente en producir más. Consiste en organizar el conocimiento, convertirlo en innovación, integrar sostenibilidad y competitividad, y capturar una proporción creciente del valor generado por la biomasa.

Referencias

AAPRESID (2026). https://www.aapresid.org.ar/es/publicaciones

AgbioInvestor (2026). Global GM Crop Area Review. AgbioInvestor Ltd., mayo de 2026. Disponible en https://gm.agbioinvestor.com/

Barrows, G., Sexton, S. y Zilberman, D. (2014). Agricultural Biotechnology: The Promise and Prospects of Genetically Modified Crops. Journal of Economic Perspectives, 28(1), 99–120.

Bennett, A. B., Chi-Ham, C., Barrows, G., Sexton, S. y Zilberman, D. (2013). Agricultural biotechnology: Economics, environment, ethics, and the future. Annual Review of Environment and Resources, 38, 249–279.

Bisang, R., Anllo, G. y Campi, M. (2008). Una revolución (no tan) silenciosa. Claves para repensar el agro en Argentina. Desarrollo Económico, 48(190), 165–207. Disponible en https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3044414

Bisang, R. y Felici, S. (2026). Transformación empresarial en la Argentina: las empresas agrobioindustriales. Instituto Interdisciplinario de Economía Política, Universidad de Buenos Aires. Documento de trabajo. Disponible en https://ojs.economicas.uba.ar/DT-IIEP/article/view/3651

Bolsa de Cereales (2026). https://www.bolsadecereales.com/

Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) (2021). El Gran Rosario concentra el 80% de la capacidad de industrialización de semillas oleaginosas del país (J. Calzada y J. Treboux). Informativo Semanal n.º 2025, 29 de octubre de 2021. Disponible en https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-gran-3

Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) (2025a). El aporte del biodiesel a la economía argentina (G. D'Angelo, J. Calzada y G. Sinópoli). Informativo Semanal n.º 2185, 21 de febrero de 2025. Disponible en https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/el-aporte-1

Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) (2025b). Industria en máximos: el crush de oleaginosas fue el cuarto más grande de la historia en 2024 (M. Contardi y E. Terré). Informativo Semanal n.º 2186, 28 de febrero de 2025. Disponible en https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/industria-en

Bolsa de Comercio de Rosario (BCR) (2025c). La industria del bioetanol alcanzó nuevos máximos en 2024 (G. D'Angelo y J. Calzada). Informativo Semanal n.º 2191, 11 de abril de 2025. Disponible en https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/la-83

https://cals.cornell.edu/integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/eiq-pesticide-valuesChen, K., Wang, Y., Zhang, R., Zhang, H. y Gao, C. (2019). CRISPR/Cas genome editing and precision plant breeding in agriculture. Annual Review of Plant Biology, 70, 667–697.

https://ideas.repec.org/a/ecr/col070/11189.htmlhttps://ideas.repec.org/s/ecr/col070.htmlCIAFA (2026). https://www.ciafa.org.ar/

https://cals.cornell.edu/integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/eiq-pesticide-valuesCornell CALS (2026). EIQ Pesticide Values. Integrated Pest Management, Cornell College of Agriculture and Life Sciences. Disponible en https://cals.cornell.edu/integrated-pest-management/risk-assessment/eiq/eiq-pesticide-values

https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2023/06/5_Actualizacion-sobre-el-manejo-responsable-de-nutrientes-en-los-sistemas-agro-productivos-de-la-Argentina.pdfFederación Argentina de Contratistas de Máquinas Agrícolas (FACMA). (2026). https://www.facma.com.ar/

Fertilizar AC (2025). Balance de nutrientes de los suelos argentinos: treinta años de extracción y reposición. Simposio Fertilidad 2025, Rosario, 7 y 8 de mayo de 2025.

Fertilizar AC (2026). https://fertilizar.org.ar/

García, F. y González Sanjuán, M. (2013). La nutrición de suelos y cultivos y el balance de nutrientes: ¿Cómo estamos? Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica 9:2-7. IPNI.

González Sanjuán, M., Grasso, A. y Bassi, J. (2013). Fertilizantes en Argentina – Análisis del consumo. Fertilizar AC / Horizonte A., Fertilizar 5, 27-29.

ISAAA (2019). Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier, ISAAA Report 55. Disponible en https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/55/executivesummary/default.asp

ISAAA (2024). Situación mundial de los cultivos biotecnológicos/transgénicos comercializados: 2024 ISAAA Report 57. Disponible en https://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/57/

Kniss, A. y Coburn, C. (2015). Quantitative evaluation of the Environmental Impact Quotient (EIQ) for comparing herbicides. PLoS ONE, 10(6), e0131200.

Lewi, D. M., Godoy, P. y Simeone, F. (2025). Experiences, learnings and perspectives in the regulation of agricultural biotechnology: the view from Argentina. Frontiers in Bioengineering and Biotechnology, 13, 1600642. https://doi.org/10.3389/fbioe.2025.1600642

Lewis, K. A., Tzilivakis, J., Warner, D. J. y Green, A. (2016). An international database for pesticide risk assessments and management. Human and Ecological Risk Assessment, 22(4), 1050-1064.

Mackelprang, R. y Lemaux, P. G. (2020). Genetic engineering and editing of plants: An analysis of new and persisting questions. Annual Review of Plant Biology, 71, 659–687.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la Nación (MAyDS) (2021). Actualización de la meta de emisiones netas de Argentina al 2030. Contribución Determinada a Nivel Nacional presentada ante la CMNUCC. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-05/Actualizacio%CC%81n%20meta%20de%20emisiones%202030.pdf

OMS (2019). The WHO recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification, 2019 edition. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. Disponible en https://www.who.int/publications/i/item/9789240005662

Pengue, W. (2009). Cuestiones económico-ambientales de las transformaciones agrícolas en las pampas. Problemas del Desarrollo, UNAM.

Pingali, P. (2012). Green Revolution: Impacts, limits, and the path ahead. Proceedings of the National Academy of Sciences, 109(31), 12302–12308.

Piñeiro, M. y Trigo, E. (2026). Geopolítica de los alimentos en un mundo en conflicto. Escenarios y dilemas para Argentina. Grupo CEO.

Piñeiro, V., Robles, M. y Elverdin, P. (2017). El agro argentino: Un sistema productivo y organizacional eficiente. IFPRI Discussion Paper 1621SP. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI). https://hdl.handle.net/10568/148760

Qaim, M. y Traxler, G. (2005). Roundup Ready soybeans in Argentina: farm level and aggregate welfare effects. Agricultural Economics, 32: 73-86. https://doi.org/10.1111/j.0169-5150.2005.00006.x

Red de Manejo de Plagas (2026). https://aapresid.org.ar/rem

Semadeni, A. y Pisani Claro, N. (2026). Fertilizantes en Argentina: evolución reciente y propuestas de políticas públicas. FADA, Río Cuarto.

SENASA (2012). Resolución 302/2012: Clasificación toxicológica de productos fitosanitarios. Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria.

Tejeda Rodríguez, A., Rossi, S., Jorge, N. y Trigo, E. (2021). 25 años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina. Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Tilman, D., Balzer, C., Hill, J. y Befort, B. L. (2011). Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proceedings of the National Academy of Sciences, 108(50), 20260–20264. Disponible en https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22106295/

Torres Duggan, M. (2010). Tecnología de la fertilización azufrada en la región Pampeana. Estado actual y tendencias. Fertilizar AC. Disponible en https://fertilizar.org.ar/wp-content/uploads/2010/10/19.pdf

Trigo, E. (2016). Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina. Argenbio, Buenos Aires, Argentina.

Trigo, E., Chudnovsky, D., Cap, E. y López, A. (2002). Los Transgénicos en la Agricultura Argentina: Una historia con final abierto. Libros del Zorzal, Buenos Aires, Argentina.

Trigo, E., Cap, E. J., Villarreal, F. y Malach, V. (2009). Innovating in the Pampas: Zero-tillage soybean cultivation in Argentina. En D. J. Spielman y R. Pandya-Lorch (eds.), Millions Fed: Proven successes in agricultural development. Washington, DC: International Food Policy Research Institute (IFPRI).

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2026). Greenhouse Gas Emissions from a Typical Passenger Vehicle. Office of Transportation and Air Quality. Disponible en https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle

USDA Economic Research Service (2016). USDA Agricultural Projections to 2025. Disponible en https://www.ers.usda.gov/publications/37818

USDA Foreign Agricultural Service (2024). Argentina: Agricultural Biotechnology Annual. GAIN Report AR2024-0018. Disponible en https://apps.fas.usda.gov/newgainapi/api/Report/DownloadReportByFileName?fileName=Agricultural+Biotechnology+Annual_Buenos+Aires_Argentina_AR2024-0018

USDA Foreign Agricultural Service (2025). 2025 Year in Review. Disponible en https://www.fas.usda.gov/newsroom/2025-year-review

USDA Foreign Agricultural Service – Brazil (2025). U.S. Trade with Brazil in 2025. Disponible en https://www.fas.usda.gov/regions/brazil

USDA National Agricultural Statistics Service (2018). Agricultural Statistics 2018. Disponible en https://esmis.nal.usda.gov/sites/default/release-files/j3860694x/2z10wz00c/9019s972q/Ag_Stats_2018.pdf.

A1. Anexo. Beneficios brutos de la adopción de cultivos GM, su distribución y el uso de agroquímicos

Tabla A. 1. Beneficios brutos de adopción de cultivos GM (USD millones)

Campaña	Soja	Maíz	Algodón	Total
1996/97	330	0	0	330
1997/98	607	0	0	607
1998/99	860	26	1	887
1999/00	1.102	170	1	1.273
2000/01	2.003	170	1	2.174
2001/02	1.498	189	2	1.689
2002/03	3.511	166	7	3.684
2003/04	3.946	186	18	4.150
2004/05	3.724	191	37	3.952
2005/06	4.005	145	42	4.192
2006/07	6.230	310	74	6.614
2007/08	8.293	336	65	8.694
2008/09	5.450	98	64	5.612
2009/10	9.010	245	96	9.351
2010/11	9.862	517	222	10.601
2011/12	8.714	418	225	9.357
2012/13	10.780	624	128	11.532
2013/14	10.450	453	224	11.127
2014/15	8.995	373	165	9.533
2015/16	8.808	592	139	9.539
2016/17	7.689	811	121	8.621
2017/18	5.585	884	179	6.648
2018/19	7.348	1.017	173	8.538
2019/20	7.275	1.101	117	8.493
2020/21	8.933	1.839	30	10.802
2021/22	7.765	3.648	654	12.067
2022/23	4.852	2.430	690	7.972
2023/24	6.637	2.194	1.533	10.365
2024/25	7.359	713	1.068	9.139
Acumulado 1996-2025	**171.621**	**19.845**	**6.077**	**197.543**
Acumulado 2021-2025	**26.613**	**8.984**	**3.946**	**39.543**

Fuente: Los datos del período 1996-2020 corresponden al trabajo de Tejeda Rodríguez et al. (2021). Se actualizaron para el período 2021-2025 utilizando la misma metodología.

Tabla A. 2. Distribución del beneficio bruto de la adopción de cultivos GM por cultivo y agente, promedio anual 2021-2024 (USD millones)

Cultivo	Beneficio bruto	Estado	Semilleras	Contratistas	Industria (crushing)	Transporte	Comercialización	Productor
Soja	6.653	1.773	35	713	552	335	251	2.995
Maíz	2.246	210	213	233	0	261	105	1.223
Algodón	986	17	11	n/d	0	n/d	n/d	958
Total	**9.886**	**1.999**	**259**	**946**	**552**	**597**	**356**	**5.176**
% del total	**100,0**	**20,2**	**2,6**	**9,6**	**5,6**	**6,0**	**3,6**	**52,4**

Fuente: Elaboración propia. n/d: no disponible. En algodón no hay tarifas de contratistas ni costos unitarios de transporte y comercialización, por lo que esos conceptos se omiten. Los totales de Transporte y Comercialización corresponden a soja y maíz.

Tabla A. 3. Distribución anual del beneficio bruto de la adopción de cultivos GM por agente, 2021-2024 (USD millones)

Año	Beneficio bruto	Estado	Semilleras	Contratistas	Industria (crushing)	Transporte	Comercialización	Productor
2021	12.067	2.417	220	1.145	416	626	355	6.887
2022	7.972	1.544	253	804	319	569	318	4.164
2023	10.364	1.990	300	950	589	688	416	5.429
2024	9.140	2.044	262	885	885	503	336	4.225
Promedio	**9.886**	**1.999**	**259**	**946**	**552**	**597**	**356**	**5.176**

Fuente: Elaboración propia. Cada año es el primero de la campaña (2021 = campaña 2021/22).

Tabla A. 4. Costos unitarios medios de transporte y comercialización utilizados en el reparto del beneficio bruto, promedio 2021-2024 (USD por tonelada)

Concepto	Componentes	Soja	Maíz
Transporte	Flete largo y flete corto	25,1	25,1
Comercialización	Comisión de acopio (2% del precio en tranquera), secado, zarandeo (solo soja) y aportes paritarios	18,8	10,0
Total		**43,8**	**35,1**

Fuente: Elaboración propia con base en los planteos de costos por cultivo, promedio simple de las campañas 2021 a 2024. El flete corto, que los planteos clasifican como gasto de comercialización, se imputa a transporte por su naturaleza. El zarandeo no se aplica en maíz.

Tabla A. 5. Comparación de dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo respecto del uso de agroquímicos en un planteo de soja convencional versus uno GM.

Insumo	Principio activo	Concentración ingrediente activo (%)	EIQ 2026	Dosis aplicada		Ingrediente activo aplicado		EIQ en campo	
				Soja Convencional	Soja OGM	Soja Convencional	Soja OGM	Soja Convencional	Soja OGM
Inoc. + Fung.	Carbendazim + Thiram	25	100	0,26	0	0,07	0	6,50	0,00
2-4D	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	50	32	1,38	1,38	0,69	0,69	22,08	22,08
Glifosato concentrado	Glifosato	55*	32	2,93	5,04	1,61*	2,77*	51,57*	88,7*
Metribuzim	Metribuzin	41	31	1,39	0	0,57	0	17,67	0,00
Imazetapir	Imazethapyr	11	28	0,63	0	0,07	0	1,94	0,00
Diamidas	Chlorantraniliprole	20	35	0,08	0,09	0,02	0,02	0,56	0,63
Confidor	Imidacloprid	35	60	0,23	0	*0,08**	0	*4,83**	0,00
DECIS	Deltamethrin	10	67	0,19	0	0,02	0	1,27	0,00
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	12,5	45	0,46	0,46	0,06	0,06	2,59	2,59
	Epoxiconazole	4,7	89	0,46	0,46	0,02	0,02	1,92	1,92
Metsulfurón	Metsulfuron-methyl	60	32	0	0,01	0,00	0,006	0,00	0,19
Totales						**3,20***	**3,57***	**110,9***	**116,1***

Nota: *Se corrigen los valores de Tejeda Rodríguez et al. (2021) por: a) un error de cálculo detectado en el insecticida imidacloprid (Confidor): el ingrediente activo aplicado figuraba con 0,70 kg/ha, diez veces más de lo que resulta de multiplicar la dosis del producto por su concentración (35%). El valor correcto es 0,08 kg/ha en soja. b) un error en la concentración del glifosato. Se exponía una concentración del 64,5%, pero en los cálculos se utilizó una del 55%. Por lo tanto, se ajustaron los valores de todos los campos. La corrección modifica el IA y EIQ en campo, así como los totales publicados en la fuente consultada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla A. 6. Comparación de dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo respecto del uso de agroquímicos en un planteo de maíz convencional versus uno GM

Insumo	Principio activo	Concentración ingrediente activo (%)	EIQ 2026	Dosis aplicada		Ingrediente activo aplicado		EIQ en campo 2026	
				Maíz Convencional	Maíz OGM	Maíz Convencional	Maíz OGM	Maíz Convencional	Maíz OGM
2-4D	Ácido 2,4-diclorofenoxiacético	50	32	1,49	1,49	0,75	0,75	23,84	23,84

Insumo	Principio activo	Concentración ingrediente activo (%)	EIQ 2026	Dosis aplicada		Ingrediente activo aplicado		EIQ en campo 2026	
				Maíz Convencional	Maíz OGM	Maíz Convencional	Maíz OGM	Maíz Convencional	Maíz OGM
Atrazina	Atrazina	50	50	2,2	4,11	1,10	2,06	55,00	102,75
Glifosato concentrado	Glifosato	55	32	2,9	3,95	1,60	2,17	51,04	69,52
Metolaclor	Metolacloro	96	31	1,7	1,67	1,63	1,6	50,59	49,70
Piclorám	Piclorám	24	43	0,4	0,18	0,10	0,04	4,13	1,86
DECIS	Deltamethrin	10	67	0,2	0	0,02	0,00	1,34	0,00
Confidor	Imidacloprid	35	60	0,2	0	*0,07**	0,00	*4,20**	0,00
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	12,5	45	0,5	0,51	0,06	0,06	2,81	2,87
	Epoxiconazole	4,7	89	1,6	0,51	0,08	0,02	6,69	2,13
Diamidas	Chlorantraniliprole	20	35	0	0,28	0,00	0,06	0,00	1,96
Total						**5,40***	**6,76**	**199,6***	**254,6**

Nota: *Se corrigen los valores de Tejeda Rodríguez et al. (2021) por: a) un error de cálculo detectado en el insecticida imidacloprid (Confidor): el ingrediente activo aplicado figuraba con 0,70 kg/ha, diez veces más de lo que resulta de multiplicar la dosis del producto por su concentración (35%). El valor correcto es 0,07 kg/ha en maíz. b) un error en la concentración del glifosato. Se exponía una concentración del 64,5%, pero en los cálculos se utilizó una del 55%. Por lo tanto, se ajustaron los valores de todos los campos. La corrección modifica el IA y EIQ en campo, así como los totales publicados en la fuente consultada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla A. 7. Clasificación toxicológica de los principios activos utilizados en los planteos de soja y maíz

Principio activo	Tipo de uso	Clase OMS (activo)	DL50 oral, rata (mg/kg)	Conc. (%)	DL50 estimada del formulado (mg/kg)	Clase estimada del formulado (banda SENASA)	Ecotoxicidad máxima (PPDB)	Cultivos
2,4-D	Herbicida	II	375	50,0	750	**Clase II**	Moderada	Soja, maíz
Atrazina	Herbicida	III	c2000	50,0	4.000	**Clase III**	Moderada	Maíz
Glifosato	Herbicida	III	4230	55,0	7.691	**Clase IV**	Moderada	Soja, maíz
Metolaclor	Herbicida	III	2780	96,0	2.896	**Clase III**	Moderada	Maíz
Metribuzim	Herbicida	II	322	41,0	785	**Clase II**	Moderada	Soja
Imazetapir	Herbicida	U	>5000	11,0	45.455	**Clase IV**	Moderada	Soja
Piclorám	Herbicida	U	8200	24,0	34.167	**Clase IV**	Moderada	Maíz
Metsulfurón-metil	Herbicida	U	>5000	60,0	8.333	**Clase IV**	Moderada	Soja
Clorantraniliprol	Insecticida	U	>5000	20,0	25.000	**Clase IV**	Alta	Soja, maíz
Imidacloprid	Insecticida	II	450	35,0	1.286	**Clase II**	Alta	Soja, maíz
Deltametrina	Insecticida	II	c135	10,0	1.350	**Clase II**	Alta	Soja, maíz
Piraclostrobina	Fungicida	No listada	>5000	12,5	40.000	**Clase IV**	Alta	Soja, maíz
Epoxiconazol	Fungicida	No listada	3160	4,7	67.234	**Clase IV**	Moderada	Soja, maíz
Carbendazim	Fungicida	U	>10000	25,0	40.000	**Clase IV**	Alta	Soja (semilla)
Tiram	Fungicida	II	560	25,0	2.240	**Clase III**	Moderada	Soja (semilla)

Notas: Clase OMS y DL50 del principio activo: OMS (2019), Tablas 3 (II), 4 (III) y 5 (U). Piraclostrobina y epoxiconazol no figuran en la OMS; se usó la DL50 oral técnica de PPDB, de modo indicativo. La concentración es la de las Tablas A. 5 y A. 6. Para la mezcla de tratamiento de semillas (carbendazim y tiram) se aplicó el método (b) de la OMS: el componente más peligroso, tiram, con la concentración total. La OMS clasifica en Ib los formulados con 15% o más de tiram. Ecotoxicidad máxima: la calificación más alta de PPDB entre aves, peces, invertebrados acuáticos, algas, abejas y lombrices. Fuente: Elaboración propia con base en OMS (2019) y PPDB (Lewis et al., 2016).

A2. Anexo metodológico

A2.1. Modelo de área sembrada

El efecto de la adopción OGM sobre el área sembrada se estima mediante un sistema de ecuaciones aparentemente no relacionadas (SUR) con efectos fijos provinciales y tendencias con quiebre kinked. Si bien el modelo se calibra para el período completo, las estimaciones se realizan solamente para las campañas 2021/22-2024/25. La ecuación del cultivo c en la provincia p y el año t es:

$$ln(Area_{cpt}) = \alpha_{cp} + \beta_c \boldsymbol{X}_t + \sum_p [\gamma_{cp} t + \delta_{cp} \max(0, t - t_c^*)] + \lambda_c Adopt_{ct} + \varepsilon_{cpt} \qquad (1)$$

donde α_{cp} es el efecto fijo provincial, $\boldsymbol{X}_t$ es el vector de variables económicas (precio FOB, tipo de cambio real, retenciones), γ_{cp} es la pendiente de tendencia base, δ_{cp}es el cambio de pendiente (*kink*) a partir del año de adopción t_c^*, λ_c es el efecto de la tasa de adopción OGM sobre el logaritmo del área, y ε_{cpt} es el término de error. El sistema se estimó por GLS iterable (SUR), maximizando la eficiencia al explotar la correlación contemporánea entre los residuos de los cultivos. El escenario contrafáctico se obtiene fijando $Adopt_{ct} = 0$ y recalculando el área predicha.

A2.2. Modelo de exportaciones (3SLS)

El impacto sobre las exportaciones se estima mediante un sistema de ecuaciones simultáneas de tres etapas (3SLS) para cada complejo exportador k (maíz, aceite de soja, harina de soja, algodón). Si bien el modelo y el cálculo de los parámetros se realizan para el período completo, las estimaciones se hacen solo para el período 2021-2024. El sistema incluye una ecuación de cantidad exportada y una de precio FOB:

$$ln(X)_{kt} = \alpha_{ok} + \alpha_{1k} Adopt_{kt} + \alpha_{2k} Ret_{kt} + \alpha_{3k} ln(TCR)_t + \alpha_{4k} Trend_t + \alpha_{5k} ln(FOB_{kt}) + u_{kt} \qquad (2)$$

$$ln(FOB_{kt}) = \beta_{ok} + \beta_{1k} ln(p^W)_{kt} + \beta_{2k} ln(SU)_{kt} + \beta_{3k} ln(X)_{kt} + v_{kt} \qquad (3)$$

donde X es la cantidad exportada, FOB es el precio de Argentina en USD/ton, p^W es el precio internacional de referencia, SU es la relación stock/uso mundial, Ret son las retenciones a la exportación y TCR es el tipo de cambio real. La tasa de adopción OGM ($Adopt$), *Ret, TCR, tendencia,* p^W y SU actúan como instrumentos para identificar el sistema: los cuatro primeros en la ecuación de precio, y los dos últimos en la de cantidad. Para maíz y algodón, la ecuación de cantidad incorpora además un término de quiebre kink para controlar el cambio estructural en la tendencia exportadora. El efecto total de la adopción sobre el valor exportado se descompone en efecto cantidad y efecto precio.

A2.3. Contabilización de la distribución de beneficios

El valor de la producción adicional respecto del escenario contrafáctico sin tecnología OGM se calcula como:

$$V \quad = \Delta Producción \; x \; FOB_t \tag{4}$$

donde

$$\Delta Producción = \left(Área_{real} \; x \; Rinde_{OGM}\right) - \left(Área_{cfact} \; x \; Rinde_{NoOGM}\right) \tag{5}$$

se obtiene de la descomposición del modelo SUR, y FOB_t es el precio de exportación del año t (en USD por tonelada).

La distribución entre agentes sigue el siguiente esquema:

Estado: obtiene una fracción del valor exportado vía retenciones: $E = V \; x \; coef_X \; x \; ret$. El coeficiente de exportación ($coef_X$) refleja la proporción de la producción destinada al mercado externo. En el presente trabajo se utiliza para soja: 82,5%; maíz: 70%; algodón: 35%; y la *ret* es la tasa vigente de retenciones para cada período.

Semilleras: Perciben la prima tecnológica sobre el área que utilizó semilla OGM certificada:

$$S \quad = Área_{OGM} \; x \; (P_{GM} - P_{conv}) \; x \; tasa_{cert} \tag{6}$$

En el presente trabajo se utiliza la tasa de certificación ($tasa_{cert}$) del 16,5% en soja (por el uso mayoritario de bolsa blanca) y del 100% en maíz e híbridos de algodón.

Contratistas: La tarifa se descompone en un componente proporcional al valor de la producción y un componente fijo por hectárea de servicios:

$$C \quad = (\Delta Prod \; x \; \beta_{cosecha} \; x \; FOB_t) + (\Delta Área \; x \; s_{fijos}) \tag{7}$$

Los parámetros se calibran a partir de la tarifa 2026 con un FOB de referencia neutral para evitar distorsiones por variaciones de precio. La tarifa es obtenida de la Federación Argentina de Contratistas de Máquinas Agrícolas (https://www.facma.com.ar/).

Industria (o Crushing). Aplica exclusivamente a soja y captura el margen de molienda sobre el volumen incremental procesado:

$$I \quad = \Delta Prod^{Soja} \; x \; pct_{crushing} \; x \; mgt \tag{8}$$

donde

$mgt = \left(0{,}79 \; x \; FOB_t^{harina}\right) + \left(0{,}19 \; x \; FOB_t^{aceite}\right) - FOB_t^{poroto}$.

Los precios de harina y aceite se alinean al año calendario t+1 respecto de la campaña t, dado que la soja de la campaña t/t+1 se cosecha y procesa principalmente en el año t+1, lo que corrige el desajuste de precios y permite calcular márgenes positivos para todo el período 2021-2024.

Transporte: Son los fletes que llevan la producción adicional del lote al acopio, la industria o el puerto. Se calcula como la producción adicional por el costo unitario de flete largo y corto:

$$T = \Delta Prod\ x\ (fl_t + fc_t) \quad (9)$$

donde fl_t y fc_t son las tarifas por tonelada de flete largo y corto del año t, tomadas de los planteos de costos por cultivo (Tabla A. 4). Se aplican a toda la producción adicional, sea cual sea su destino.

Comercialización: Comprende los servicios de acopio y acondicionamiento del grano (comisión de acopio, secado, zarandeo y aportes paritarios), calculados también sobre la producción adicional:

$$Cm = \Delta Prod\ x\ (cac\ x\ P_t + sec_t + zar_t + par_t) \quad (10)$$

donde cac es la alícuota de la comisión de acopio (2%), P_t es el precio en tranquera (USD por tonelada) y sec_t, zar_t y par_t son los costos unitarios de secado, zarandeo y paritaria (Tabla A. 4). En algodón no hay costos unitarios, así que ambos conceptos se omiten, igual que en el caso de los contratistas.

Productor: Obtiene el residual una vez descontadas las participaciones de los demás agentes:

$$Prod \quad = B - (E + S + C + I + T + Cm) \quad (11)$$

Es el valor que queda en manos del productor después de pagar a los demás agentes de la cadena, e incluye el margen operativo y la renta diferencial de la tecnología OGM. Se calcula antes de deducir los costos directos de producción (insumos y labores propias) de las hectáreas incorporadas, por lo que no equivale a una utilidad neta. En la ecuación, B es el beneficio bruto de cada cultivo y campaña (Figura 9 y Tabla A. 1). Los demás agentes se calculan sobre la producción adicional y su valor V, por lo que el residual del productor recoge también la diferencia entre ambos conceptos.

A2.4. Clasificación toxicológica de los productos formulados

La clasificación por banda sigue la de la OMS (2019), que el SENASA adopta en la Resolución 302/2012 (Anexo I). Se define por la DL50 oral en rata, la dosis que mata al 50% de los animales: clase Ia, menos de 5 mg/kg; Ib, de 5 a 50; II, más de 50 hasta 2.000; III, más de 2.000 hasta 5.000; IV, más de 5.000 (categoría U en la OMS).

La clase oficial se asigna al formulado con ensayos del fabricante. Aquí se dispone de la concentración de cada producto y no de sus ensayos, de modo que la DL50 del formulado se estimó como propone la OMS: DL50 del principio activo multiplicada por 100 y dividida por su porcentaje en el producto.

$$DL50_{formulado} = DL50_{activo}\ x\ 100\ /\ c \quad (12)$$

donde *c* es la concentración del principio activo en el formulado, en porcentaje. En las mezclas se tomó el componente más peligroso con la concentración total de los activos (método (b) de la OMS). La estimación es indicativa: no contempla solventes ni coadyuvantes, y la clase del marbete puede ser distinta. La ecotoxicidad proviene de PPDB (Pesticide Properties DataBase, Universidad de Hertfordshire) y corresponde al principio activo técnico.

Grupo CEO

Consultores en Economía y Organización

Tres décadas de investigación aplicada y asesoramiento estratégico en política agrícola, comercio internacional, bioeconomía y desarrollo rural en América Latina y el Caribe.

Web www.grupo-ceo.com
Correo info@grupo-ceo.com
LinkedIn linkedin.com/company/grupo-ceo-la
X @GCEOConsultores

© Grupo CEO. Todos los derechos reservados. Prohibida su reproducción total o parcial sin autorización.