



25
AÑOS

**DE CULTIVOS
GENÉTICAMENTE MODIFICADOS
EN LA AGRICULTURA ARGENTINA**

MAYO 2021

**Agustín Tejada Rodríguez
Santiago Rossi
Nicolás Jorge
Eduardo Trigo**



**Bolsa
de Cereales**





RESUMEN EJECUTIVO

El trabajo estudia el impacto económico y ambiental de la adopción de semillas genéticamente modificadas (GM) en la agricultura argentina en los cultivos soja, maíz y algodón. Se analizan los efectos a nivel productor y a nivel agregado.

Un primer grupo de resultados indica que los cultivos GM incrementaron rendimientos, redujeron costos de producción y aumentaron la rentabilidad de la producción primaria. En el período 1996-2020 los planteos GM superaron en promedio a los convencionales en 29,1 USD/ha en el caso de la soja, 35 USD/ha en maíz y 217 USD/ha en algodón.

Un segundo grupo de resultados indica que la adopción de cultivos GM ha reportado importantes beneficios al país. Se estiman beneficios brutos acumulados en 25 años de USD 159 mil millones. De este total, el 92% (U\$S 146 MM) corresponden al cultivo de la soja, el 7% (U\$S 10,9 MM) al maíz y el resto (U\$S 2,1 MM) al algodón. Cuando se observa el incremento de divisas gracias a las mayores exportaciones, los 25 años de GM representaron 153 mil millones de dólares adicionales. En el apartado del empleo adicional demandado por las cadenas al aplicar la tecnología GM, se promedió 93 mil puestos de trabajo directos por campaña.

Un tercer grupo de resultados indica que en términos ambientales los cultivos GM han permitido mitigar significativamente el impacto de la producción primaria en el medio ambiente. De no haberse dado el salto en la adopción de siembra directa observado con posterioridad a 1996, se hubieran volcado al ambiente más de 18 mil millones kg de carbono equivalente al consumo anual de 3,9 millones de autos particulares. Por otro lado, la tecnología permitió incrementar el carbono acumulado en el suelo, en 7,3 millones de toneladas para la campaña 2020/2021 y 121 millones de toneladas en las últimas 25 campañas.

Por último, se hace una reflexión sobre la importancia de continuar aprovechando los beneficios de la biotecnología agrícola, y sobre los desafíos que hoy existen, así como los que puedan aparecer en el futuro.



ÍNDICE

Veinticinco Años de Cultivos Genéticamente Modificados en la Agricultura Argentina	5
I. Introducción.....	5
II. Del laboratorio al campo.....	7
III. Adopción de cultivos GM en Argentina.....	9
Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada.....	12
El cultivo de soja GM.....	13
El cultivo de maíz GM	14
IV. Impacto económico de la adopción de cultivos GM.....	16
IV a. Impacto económico a nivel productor.....	16
IV b. Impacto a nivel agregado.....	23
V. El paquete tecnológico actual: brechas de rendimiento y balance de nutrientes en los suelos argentinos	32
VI. Impacto ambiental de los cultivos GM.....	37
VI. a. Impacto sobre uso de agroquímicos	37
VI. b. Impacto sobre emisiones de dióxido de carbono	44
VII. El desafío de continuar aprovechando los beneficios de la tecnología	49
Box: Cuidado de la tecnología Bt	54
Referencias	59
Anexo I: Tablas	64
Anexo II: Modelo de equilibrio parcial	73
Glosario	75



Veinticinco Años de Cultivos Genéticamente Modificados en la Agricultura Argentina

I. Introducción

Con más de 26 millones de hectáreas dedicadas a los cultivos de soja, maíz y algodón, Argentina es uno de los países líderes en la utilización de cultivos genéticamente modificados (GM). El proceso de adopción se inició en 1996 con la introducción de la soja tolerante a herbicidas y a partir de entonces ha mostrado una dinámica inédita en otras regiones de mundo: en apenas cuatro campañas la superficie de soja GM pasó de representar menos del 5% del área sembrada con soja a más del 80%, mientras que en algodón y maíz niveles superiores al 80% se alcanzaron apenas después de 9 y 13 campañas respectivamente.

Existe una extensa literatura¹ que ha encontrado que los cultivos GM reportan beneficios económicos, simplifican procesos y reducen el uso de agroquímicos. En ese sentido, el objetivo de este trabajo es estimar los principales impactos en términos económicos y ambientales de los cultivos GM en Argentina. Algunos de los interrogantes a analizar son ¿Cuánto de la expansión del área sembrada, el aumento de los rendimientos y de la producción se explica por la introducción de estas tecnologías? ¿Cuál fue su impacto en los costos de producción y en los márgenes de los productores? ¿Cómo se distribuyeron estos beneficios entre los distintos actores de la cadena de valor? ¿Cuánto empleo significó para el sector? ¿Cuánto para la economía del país? ¿Qué impacto ha tenido sobre el medio ambiente? ¿Cuál ha sido su contribución a la generación de gases de efecto invernadero?

Para estudiar estas cuestiones se utilizan aquí un conjunto variado de metodologías: modelos de simulación, relevamientos de literatura, entrevistas a expertos y modelos de cadenas de valor.

Un primer grupo de resultados indica que los cultivos GM han mejorado los márgenes de los productores. En el período 1996-2020 los planteos GM superaron en promedio a los convencionales en 29,1 USD/ha en el caso de la soja, en 35 USD/ha en el caso del maíz y en 217 USD/ha en el caso del algodón. Dependiendo del cultivo, el incremento de los márgenes se vio explicado por una combinación de menores costos de producción y aumentos de los rendimientos.

¹ Ver por ejemplo Klumper y Qaim (2014), Finger et al. (2014), Nicolía et al. (2013) y Kathage y Qaim (2012).



Un segundo grupo de resultados indica que la adopción de cultivos GM ha reportado importantes beneficios al país. Se estiman beneficios brutos acumulados en el período bajo análisis de USD 159 mil millones. Del total de beneficios, el 92% (U\$S 146 MM) corresponden al cultivo de la soja, el 7% (U\$S 10,9 MM) al maíz y el resto (U\$S 2,1 MM) al algodón. Cuando se observa el incremento de divisas gracias a las mayores exportaciones, los 25 años de GM representaron 153 mil millones de dólares adicionales. En el apartado del empleo adicional demandado por las cadenas al contar con cultivos GM, se promedió 93 mil puestos de trabajo por campaña.

Un tercer grupo de resultados indica que en términos ambientales los cultivos GM han permitido mitigar significativamente el impacto de la producción primaria en el medio ambiente.

Se estimaron beneficios ambientales en dos frentes. Por un lado, se identifican beneficios por el menor uso y toxicidad de los agroquímicos aplicados. Sobre este punto se destaca el caso de la soja GM con una reducción del 30% en el impacto ambiental en comparación con la soja convencional.

Por otro lado, se estiman beneficios ambientales por la mayor adopción de siembra directa que se dio como consecuencia del uso de cultivos GM. En este sentido, se estiman beneficios tanto por el menor uso de combustibles como por el aumento de la tasa de carbono secuestrado en el suelo que surge de aplicar esta práctica de agricultura de conservación.

En cuanto a la reducción del uso de combustibles fósiles, si no se hubiera adoptado el paquete tecnológico que incluye la siembra directa y el uso de semillas GM actualmente las emisiones de dióxido de carbono serían más de 1.000 millones de kg por año superiores, es decir que se redujeron emisiones equivalentes al consumo anual de 240 mil autos (EPA, 2011). En el acumulado del período 1996-2020 se hubieran volcado al ambiente más de 18 mil millones kg de carbono equivalente al consumo anual de 3,9 millones de autos particulares.

Con respecto al carbono secuestrado del ambiente, el mismo asciende producto de la adopción de siembra directa. En particular, se estima que para la campaña 2020/2021 el volumen de carbono orgánico en los suelos se incrementó en 7,3 millones de toneladas por encima de lo que habría ocurrido sin GM. Sumando las últimas 25 campañas total alcanza los 121 millones de toneladas.

El resto del documento se estructura de la siguiente manera. Luego de la introducción, en la sección 2 se presenta una descripción de los productos GM aprobados para uso comercial en Argentina. En la sección 3, se describe la evolución de la adopción de esta



tecnología en la superficie sembrada de los principales cultivos y se describen los principales factores que explicaron la dinámica de adopción. En la sección 4, se analiza el impacto económico a nivel productor y a nivel país. La sección 5 analiza los principales indicadores productivos del paquete tecnológico actual. En la sección 6, se estiman los impactos a nivel ambiental. Finalmente, en la sección 7 se presenta un conjunto de reflexiones a modo de conclusión.

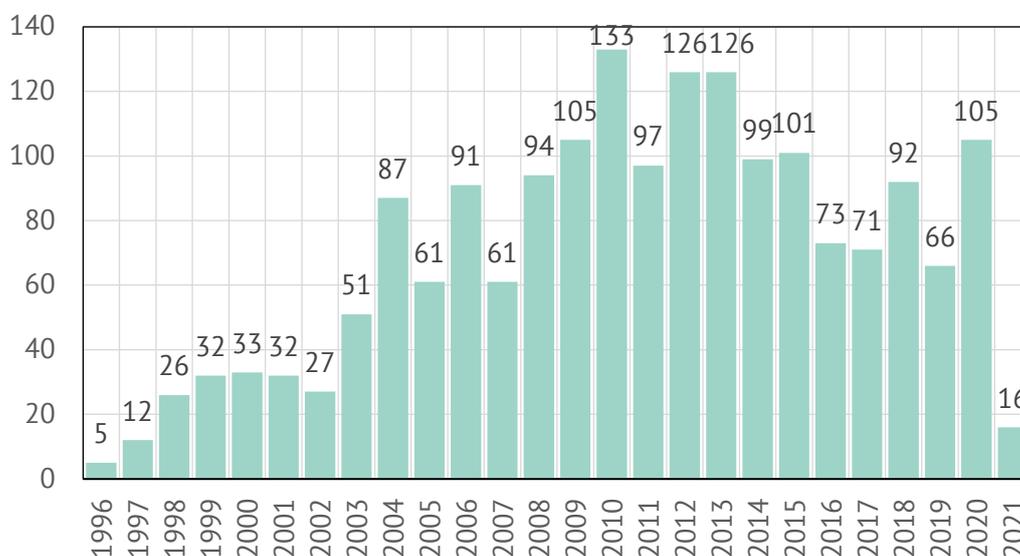
II. Del laboratorio al campo

El primer cultivo GM incorporado a la agricultura argentina fue la soja tolerante al herbicida glifosato, que fue aprobada en 1996 casi al mismo tiempo que en los Estados Unidos.

El marco institucional vigente en ese entonces fue uno de los factores que facilitó la rápida introducción de esta tecnología en el país. En ese sentido, la creación de la Comisión Nacional Asesora de Bioseguridad Agropecuaria (CONABIA), el organismo responsable del proceso regulatorio para la experimentación y liberación comercial de los cultivos GM, tuvo un rol central (Trigo, 2011).

Desde esa fecha en adelante se han registrado más de dos mil variedades GM. En la Figura 1 se muestra el número de variedades GM registradas en el Instituto Nacional de Semillas (INASE) desde 1996. La cantidad de variedades registradas creció de 5 en 1996

Figura 1. Nuevas variedades GM en el Registro Nacional de Cultivares



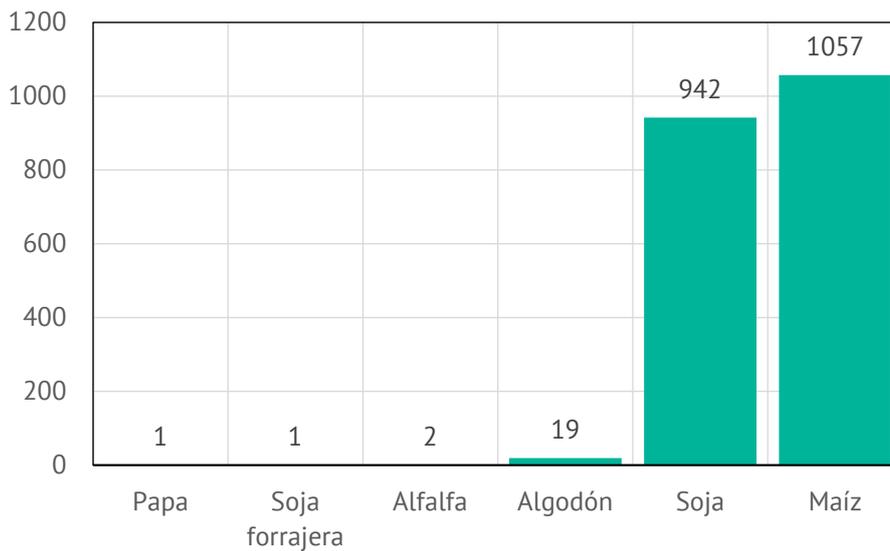
Fuente: Registro Nacional de Cultivares, INASE. Año 2021 con datos hasta 30 de abril.



a 133 en 2010 y luego promedió 88 por año. Del total de variedades GM registradas, 1.057 corresponden a maíz, 942 a soja, 19 a algodón y 2 a alfalfa (Figura 2).

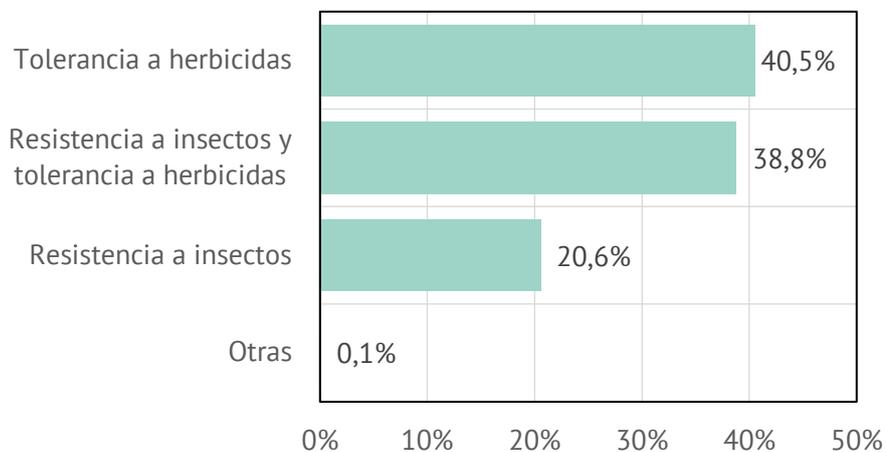
Las variedades GM registradas dentro de este período incluyeron como características introducidas las siguientes: la tolerancia a herbicidas (48,5%), la resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas (ambas a la vez, 46,4%) y la resistencia a insectos (24,6%, Figura 3).

Figura 2. Variedades GM en el Registro Nacional de Cultivares por cultivo



Fuente: Registro Nacional de Cultivares, INASE 2020. Año 2021 datos hasta 30 de abril.

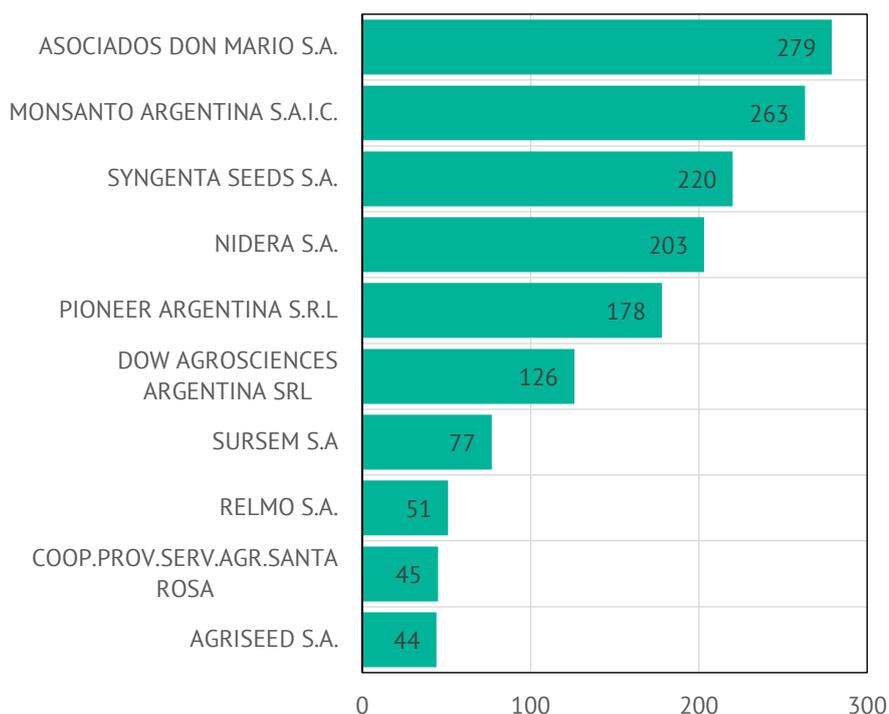
Figura 3. Variedades GM registradas por característica introducida*



Nota: *Al 30 de abril de 2021. Fuente: INASE



**Figura 4. Variedades GM registradas por empresa solicitante*.
Principales 10 empresas.**



Nota: *Al 30 de abril de 2021. Fuente: INASE

Las principales empresas en cantidad de solicitudes al INASE fueron Asociados Don Mario (279), Monsanto (263) y Syngenta (220) (Figura 4).

En cuanto a la cantidad de eventos (y combinaciones de eventos) comerciales autorizados, luego de la aprobación de la soja tolerante a herbicida se han otorgado 62 aprobaciones comerciales, incluyendo maíz (34), soja (16), algodón (7), alfalfa (1), cártamo (1), papa (1) y trigo (1). En la Tabla A1 del Anexo se presenta el listado completo de las aprobaciones, incluyendo el nombre de los eventos y las características introducidas.

III. Adopción de cultivos GM en Argentina

Luego de la aprobación de la soja tolerante al glifosato en 1996, el área sembrada con soja GM pasó de representar menos del 5% a más del 80% cuatro campañas más tarde (ver Figura 5). Esto ha posicionado a la Argentina entre los principales productores de cultivos GM a nivel mundial.



En el año 2019² se sembraron 190,4 millones de hectáreas con cultivos GM en 29 países (ISAAA, 2019). Argentina representó en torno al 12,6% del total de hectáreas sembradas con semillas GM, Estados Unidos el 37,5%, Brasil representó el 27,7%, Canadá el 6,6%, India el 6,2%, Paraguay 2,1%, y China, Sudáfrica, y Pakistán aproximadamente el 1,5% cada uno.

La amplia adopción de los cultivos GM sugiere que los productores se han visto beneficiados por estas tecnologías. Cuando adoptan una nueva tecnología esperan incrementar sus márgenes netos, simplificar procesos, y reducir la exposición a productos químicos (Fernandez Cornejo, 2014). Los márgenes netos son una función de las características del establecimiento agropecuario (tamaño y calidad de los suelos), la ubicación, los precios de los granos y de los insumos, los sistemas de producción existentes y las capacidades de gestión.

En la campaña 2019/2020 los productores argentinos sembraron 26,85 millones de hectáreas de maíz, soja y algodón GM (Tabla A2), lo que representa alrededor de dos tercios de la superficie sembrada total de todos los cultivos del país³.

La literatura académica ha examinado las causas de la adopción de estas tecnologías por parte de los productores. Finger et al (2009) identifica para el caso argentino, que las empresas desarrolladoras tuvieron un rol central en la difusión de la soja tolerante a herbicidas a partir de la provisión de información. AAPRESID e INTA fueron también instituciones destacadas en este rol. Esto mejoró la percepción de los productores sobre estas nuevas tecnologías. Penna y Lema (2002) encuentran que la mayor rentabilidad y el menor riesgo relativo de la soja GM sobre la soja convencional son los principales factores que explican la rápida adopción. Esta mayor rentabilidad sería consecuencia de los menores costos en herbicidas en lugar de mayores rendimientos.

El marco institucional también fue relevante para explicar la velocidad de adopción. Se destacan tres puntos centrales al respecto:

En primer lugar, la creación de instituciones regulatorias como la Comisión Nacional Asesora de Biotecnología Agropecuaria (CONABIA) y del INASE en 1991, que sentaron las bases para la experimentación y liberación comercial de los cultivos GM en el país.

En segundo lugar, las condiciones particulares en que la soja GM fue introducida al país. Qaim y Traxler (2005) destacan este punto en su trabajo:

² Último dato disponible.

³ Estimado a partir del último Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada para 2019/2020.



‘La primera empresa en comercializar variedades de soja RR en Argentina fue Nidera. Nidera recibió acceso libre de regalías de la tecnología de Monsanto a fines de los años ‘80s. Un breve recorrido del contexto explica la situación: a mediados de los ‘80s, Asgrow international, que en ese momento era controlada por Upjohn, tenía un acuerdo con Monsanto para introducir la tecnología RR en su línea de semillas. Poco después de esto, Upjohn decidió vender o cerrar sus filiales en el hemisferio sur. Nidera compró a Asgrow Argentina y, con esta compra, adquirió el derecho a usar el germoplasma de Asgrow International. A mediados de los ‘90s, Monsanto compró el negocio de granos y oleaginosas de Asgrow International y terminó el acuerdo de libre acceso con Nidera para los nuevos desarrollos. No obstante, el material existente, permanecía inalterado incluyendo las líneas con el evento RR. Nidera solicitó la autorización de esta tecnología al marco de bioseguridad argentino y consiguió aprobación para su uso comercial en 1996. Monsanto y otras compañías siguieron este proceso en los años subsiguientes. En 2001 había siete compañías proveyendo más de 50 variedades de soja RR en Argentina. Con excepción de Nidera, todas las compañías pagaban regalías a Monsanto. ‘. Adaptado de Qaim y Traxler (2005).

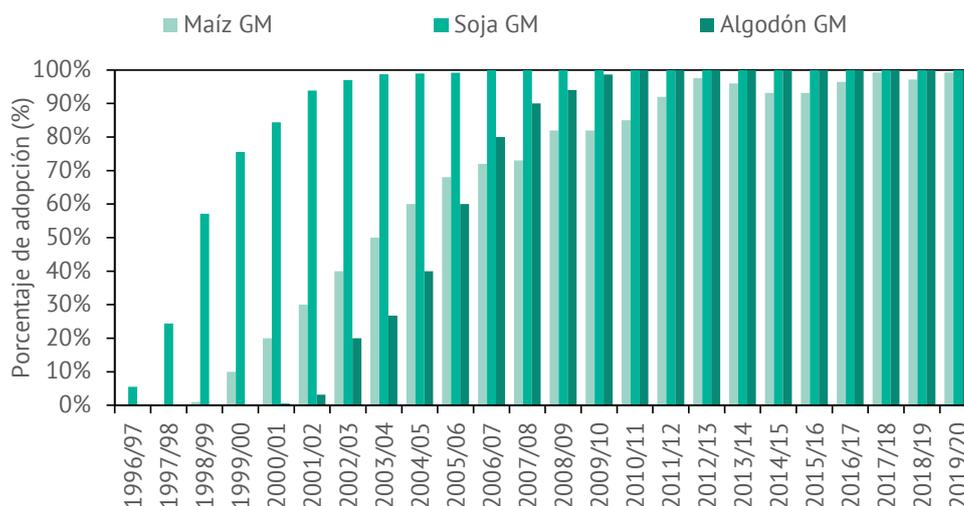
Y el tercer punto refiere a los aspectos operativos del mercado de semillas. Bajo los principios de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), a los cuales Argentina adhirió en 1995, los productores pueden legalmente guardar semillas para uso propio. Este factor redujo significativamente los costos de la tecnología en las etapas tempranas de adopción, en conjunto con la existencia de operaciones ilegales (la denominada ‘bolsa blanca’) de venta de semillas sin fiscalizar y, por lo tanto, sin la autorización de las compañías dueñas de los derechos.

Sobre este último punto, un análisis de la General Accounting Office de los Estados Unidos (GAO, 2000) encuentra que los productores estadounidenses en el período 1998-2000 enfrentaban un costo de semilla que casi duplicaba el de sus pares argentinos. Entre los factores que mencionan en el estudio, la existencia de un mercado más competitivo, el uso de semilla propia y la venta ilegal de semillas son los principales determinantes.

El maíz GM se introdujo a la agricultura argentina en 1998 cuando fue autorizada la semilla con resistencia a lepidópteros. Su velocidad de adopción fue también significativa: la superficie sembrada cinco años después de su lanzamiento alcanzaba el 50% del área y actualmente se ubica en torno al 100% (Figura 5). Esta dinámica representa un proceso de incorporación de tecnologías sin precedentes tanto a nivel local como internacional. Trigo (2011), compara la velocidad de adopción de cultivos GM en Argentina con la experiencia de otras regiones y tecnologías comparables en la



Figura 5. Evolución de la participación de cultivos GM sobre el total del área para cada cultivo



Fuente: 1996 - 2015, ArgenBio (2015); 2016-2020 y ReTAA (2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

agricultura mundial. Sus resultados indican que la velocidad de adopción de los cultivos GM en Argentina supera a la experiencia del ‘corn belt’ americano y, en otras partes del mundo, a las tecnologías de la llamada “revolución verde”.

En términos relativos a la soja y el maíz, la velocidad de adopción del algodón resistente a insectos fue mucho menor (ver Figura 5) principalmente por factores asociados a la calidad del germoplasma, que no tenía en un principio la misma adaptación a las condiciones locales en relación a la semilla convencional, aunque alcanzó rápidamente el 100% de adopción una vez que estuvo disponible el evento en un germoplasma adecuado. Por otro lado, Qaim y De Janvri (2003) señalan que la tecnología Bt mostraba ventajas significativas en cuanto a reducción de insecticidas y el incremento en los rendimientos, pero que tuvo una velocidad de adopción lenta en Argentina como consecuencia de los elevados costos iniciales de la semilla Bt. Chudnovsky (2007) también vincula la menor adopción de algodón Bt a la estrategia de comercialización de las empresas que llevó a que la tecnología Bt tenga un costo cuatro veces superior al de la tecnología convencional.

Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada

El Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada (ReTAA) de la Bolsa de Cereales (Brihet *et al.*, 2016, 2017, 2018, 2019 y 2020) mide la adopción de tecnología en los principales cultivos extensivos de Argentina desde la campaña 2010/11. A partir del relevamiento de datos con encuestas telefónicas a asesores agrícolas de todo el país, se genera

información sobre el uso de tecnología en términos de insumos y de manejo técnico de los cultivos.

La biotecnología en semillas es una de las variables más importantes relevadas en el ReTAA debido al crecimiento sostenido de su uso en las últimas décadas. En esta subsección se presentan algunos de los resultados del relevamiento.

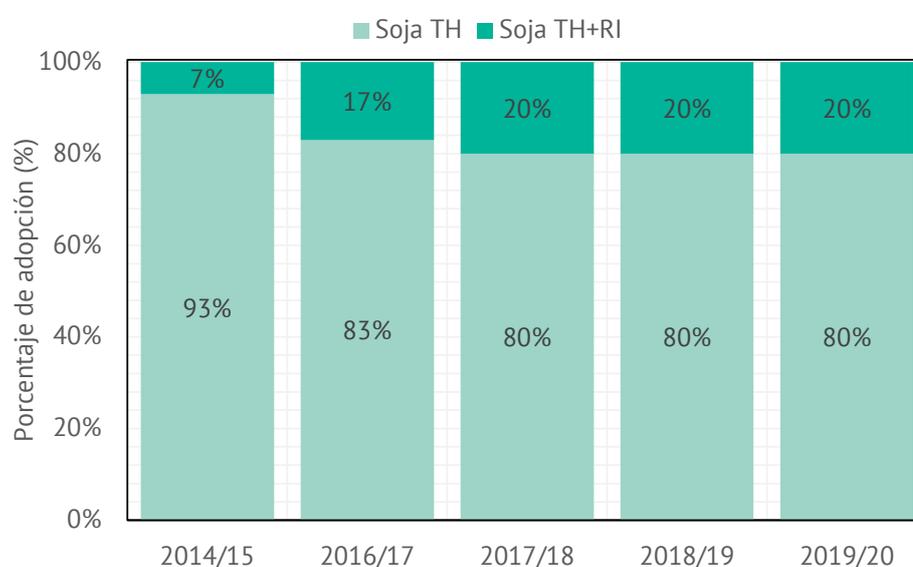
El cultivo de soja GM

Tras la introducción de la soja tolerante a glifosato, uno de los saltos tecnológicos más importantes en materia de semillas de soja se dio en el año 2012 con la autorización de la comercialización de semillas, productos y subproductos de soja con eventos acumulados de resistencia a insectos (RI) y tolerancia a herbicida (TH), también llamados Bt + RR2.

En las últimas cuatro campañas el uso de la tecnología RI+TH (o Bt+RR2) ha mostrado un crecimiento significativo pasando de 7% en la campaña 2014/15 a 20% en la campaña 2019/20 (ver Figura 6).

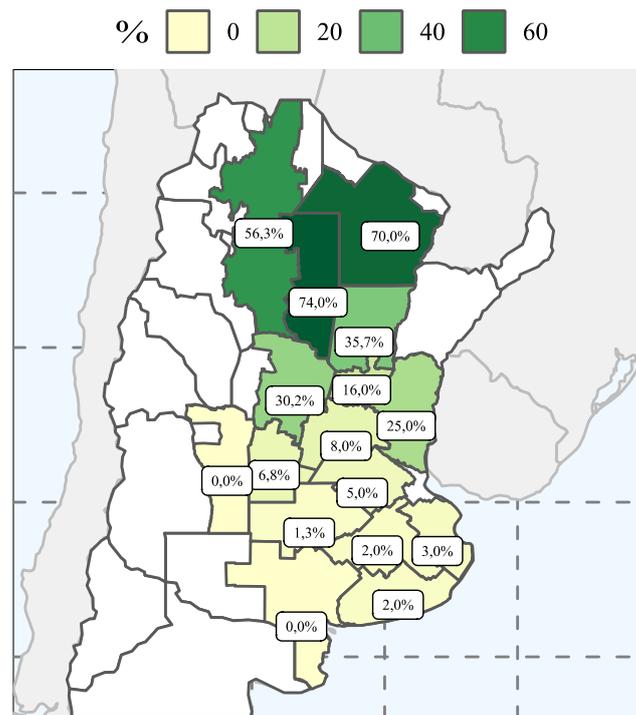
Razonablemente, la adopción de soja RI+TH mostró los más elevados niveles de adopción en la región noreste, donde hay mayor incidencia de lepidópteros. Hacia el sur del país su adopción disminuye significativamente (ver Figura 7).

Figura 6. Adopción de genética en soja: eventos simples y eventos apilados.



Fuente: ReTAA (2016, 2017, 2018, 2019, 2020).

Figura 7. Soja: Adopción de variedades RI + TH (apiladas) en 2019/20



Fuente: ReTAA (2020).

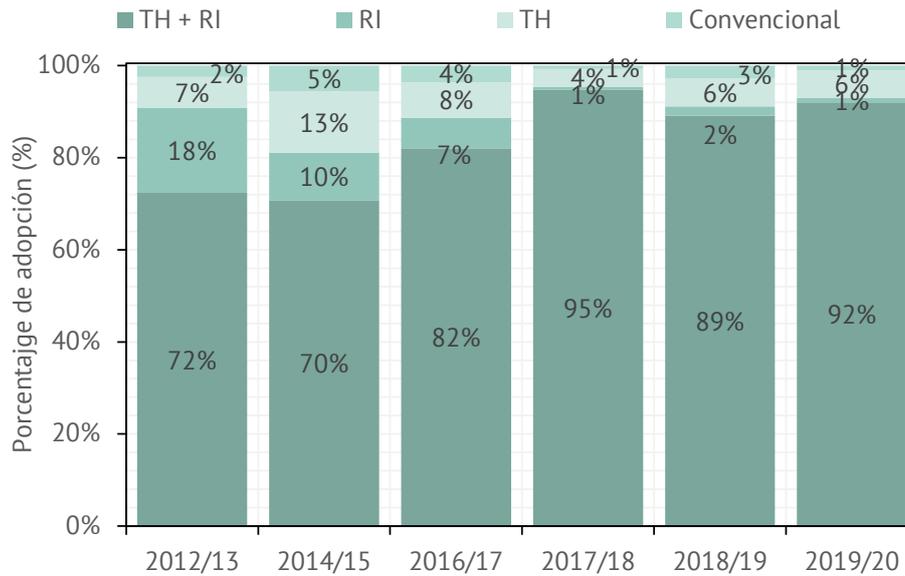
El cultivo de maíz GM

A lo largo de la última década se notó un fuerte cambio en la adopción de híbridos en maíz. La generación práctica de conocimiento técnico y el desarrollo de nuevos híbridos contribuyeron a una disminución del uso de eventos simples a expensas de eventos apilados. En la campaña 2019/20, los eventos apilados (TH+RI) representaron el 92% del total de semilla sembrada, mientras que los eventos simples (TH o RI) alcanzaron el 7% y la semilla convencional el 1% (ver Figura 8).

Los híbridos con eventos apilados se adoptan en toda el área agrícola aunque en distintos niveles por región (ver Figura 9). Estos híbridos son elegidos porque combinan eventos tolerantes a herbicidas con eventos con resistencia a insectos, y permiten hacer un buen abordaje de tales adversidades. A su vez, reducen la cantidad de fitosanitarios aplicados y en consecuencia sus costos asociados (Brihet *et al.*, 2019). Otras características son el mejor comportamiento sanitario, el mayor potencial de rendimiento y la facilitación del proceso de secado.

En el mismo sentido, la utilización de híbridos con eventos apilados para el control de malezas e insectos cobra importancia en planteos de maíz tardío. El atraso en la fecha de siembra favorece el aumento de la abundancia poblacional de las principales plagas

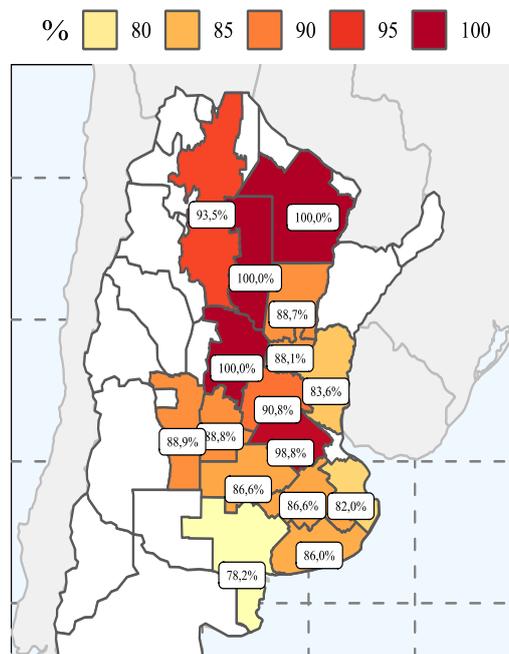
Figura 8. Adopción de biotecnología en maíz: eventos simples y eventos apilados



Nota: TH: tolerante a herbicidas, RI: resistente a insectos. Fuente: ReTAA.

(barrenador del tallo, gusano cogollero y bolillera) exponiendo al cultivo a altas presiones de las mismas en estados fenológicos de mayor susceptibilidad. En la Figura 9 se muestran los porcentajes de adopción de eventos apilados en la campaña 2019/20, observándose una amplia tasa de adopción en todo el territorio.

Figura 9. Maíz: Adopción de variedades RI + TH (apiladas) en 2019/20



Fuente: ReTAA (2020).



IV. Impacto económico de la adopción de cultivos GM

IV a. Impacto económico a nivel productor

Muchos estudios han evaluado los factores que influyen en la adopción, así como los efectos de los cultivos GM en los rendimientos, los márgenes y el uso de fitosanitarios. Los mismos varían según el cultivo y la tecnología.

En la Tabla 1 se presenta un resumen de trabajos seleccionados sobre los efectos de los cultivos GM en los rendimientos, el uso de agroquímicos, y los retornos económicos en Argentina. La mayoría de los trabajos encuentra resultados positivos en alguna de estas tres variables.

En el caso de la soja resistente a herbicidas, Groves (1999) estima que la soja GM reduce los costos de producción entre 25 y 30 USD/ha, a la vez que aumenta los rendimientos en comparación con la soja convencional. Qaim y Traxler (2003), realizan encuestas a 59 productores en Buenos Aires, Santa Fe y Chaco y encuentran que la soja GM registra costos inferiores en 20 USD/ha y márgenes 10% mayores; no encuentran cambios significativos en los rendimientos ni en el uso de fitosanitarios. En tanto que, Penna y Lema (2002) no encuentra variaciones de importancia en rindes ni en el uso de fitosanitarios, aunque sí en el costo de producción, el cual estiman inferior al de la soja convencional entre 15 y 17 USD/ha. Tanto Penna y Lema (2002) como Qaim y Traxler (2003) asocian los menores costos de producción a la menor cantidad de aplicaciones necesarias en la nueva tecnología.

En la comparación entre el algodón resistente a insectos y el convencional, Qaim y De Janvri (2003), utilizando una encuesta a 299 productores de Chaco y Santiago del Estero, encuentran que el algodón GM registraba rindes 29,5% más altos, márgenes superiores en 88,2 USD/ha y reducciones en las dosis de insecticidas de 73% en promedio⁴. En el mismo sentido, De Bianconi (2003) identifica que la tecnología Bt trae beneficios a los productores por aumento en rindes (+54%), menor uso de insecticidas (-63%) y mayores márgenes (+16 USD/ha). Finger *et al.* (2011), analiza el caso argentino y el de otros seis países productores de algodón, y encuentran un efecto positivo del algodón Bt en rindes (+46%), márgenes (+86%) y gasto en insecticidas (-48%).

En la comparación entre el maíz resistente a insectos y el convencional, Paredes (2002) estima un impacto positivo en rindes (+26%) y márgenes (+48 USD/ha) para una muestra de 120 productores de Entre Ríos. Resultados similares encuentran Brookes y Barfoot

⁴ La caída del uso de insecticidas se estima mayor en el caso de insecticidas de toxicidades más altas.



(2020), quienes estiman un impacto positivo en rindes de 5% en zonas núcleo y 33% en marginales.

Tabla 1. Resumen de trabajos seleccionados sobre los efectos de los cultivos GM en los rendimientos, el uso de agroquímicos, y los retornos económicos en Argentina

Cultivo/ autores/ fecha de publicación	Fuente de los datos	Efectos sobre		
		Rinde	Uso de agroquímicos	Retornos económicos
Soja tolerante a herbicida				
Groves, 1999	n.d.	Aumenta	n.d.	Aumenta
Qaim y Traxler, 2003	Encuesta	Igual	Igual	Aumenta
Penna y Lema, 2002	Comunicación especialista	Igual	Igual	Aumenta
Algodón resistente a insectos				
De Bianconi, 2003	Encuesta	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Qaim y De Janvri, 2003	Encuesta	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Finger <i>et al.</i> , 2011*	meta-análisis	Aumenta	Disminuye	Aumenta
Maíz resistente a insectos				
Paredes, 2007	Encuesta	Aumenta	Igual	Aumenta
Finger <i>et al.</i> , 2011	meta-análisis	Igual	Igual	Igual
Brookes y Barfoot, 2020	Información industria	Aumenta	n.d.	Aumenta

Nota (*) : Argentina y seis países.

Metodología

Para el presente documento se realizó un análisis comparativo entre escenarios con semillas GM y convencionales, estimando tanto costos de producción como márgenes brutos. La diferencia entre ambos escenarios permite medir el ahorro en costos que se obtiene gracias a los eventos GM, así como los beneficios para la producción en términos netos.

Con este fin, se construyeron planteos productivos teóricos para una explotación agrícola típica, tanto bajo el supuesto de utilización de material de siembra GM como

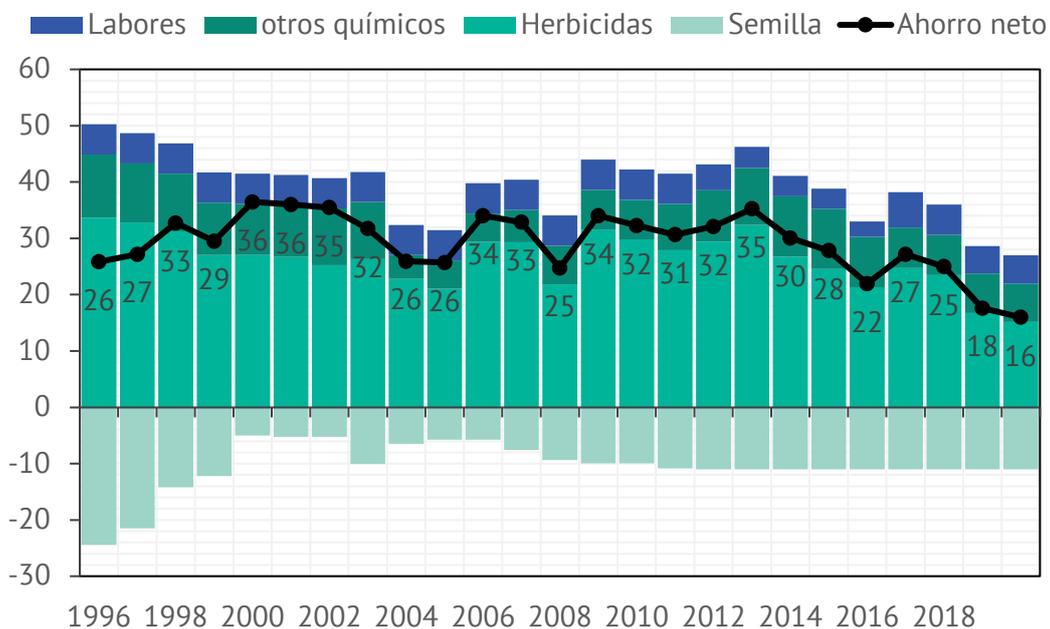


convencional. Para el primer caso se tomaron como referencia las utilidades de insumos promedio publicadas por el ReTAA (Brihet *et al.*, 2019), mientras que para el escenario contrafáctico (semilla convencional), se modificaron los requerimientos de insumos y labores con criterios agronómicos. Dado que el ReTAA no contiene datos de algodón, para este producto se tomó como referencia a Quirolo *et al.* (2019), De Bianconi (2003), Cámara Algodonera Argentina y consultas a expertos. A partir de estos modelos teóricos, sumado a los precios de insumos y productos se desarrollaron las tablas por producto que se muestran debajo.

Soja

En el caso de la soja resistente a herbicidas, los resultados indican que el planteo con soja GM presenta menores costos de herbicidas y labores, aunque registra mayores costos de semilla (ver Figura 10).

Figura 10. Ahorro de un planteo de soja GM vs. convencional por rubro (USD/ha.)



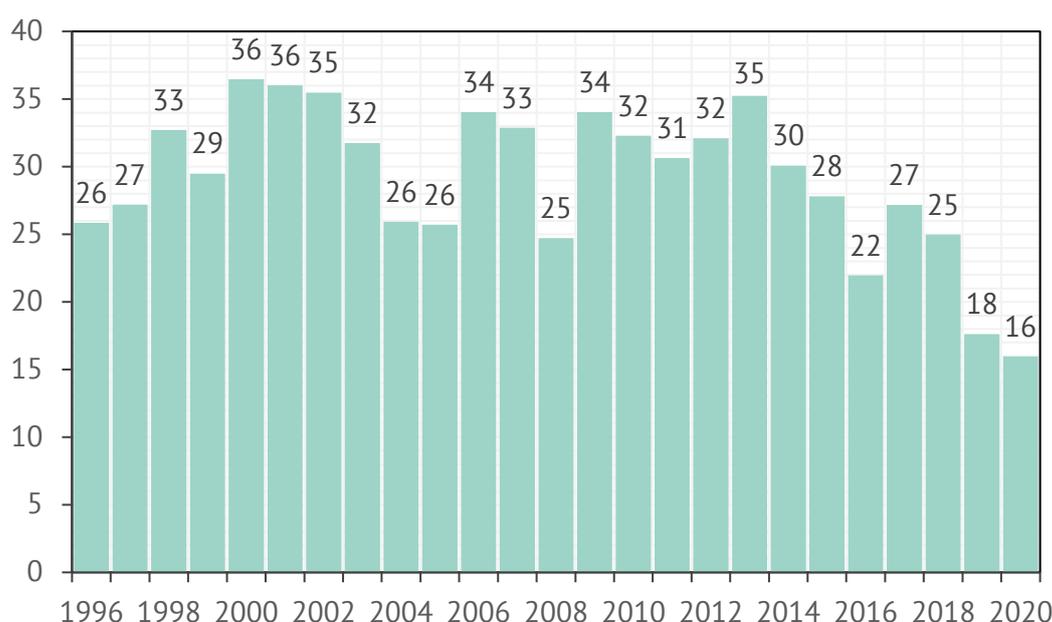
Los menores costos en herbicidas se explican por el menor precio del glifosato en comparación con los herbicidas utilizados en planteos convencionales⁵, en tanto que los menores costos en insecticidas y la menor cantidad de aplicaciones explican los menores costos en los rubros ‘otros químicos’ y labores.

⁵ En los planteos convencionales se utiliza glifosato aunque en una menor cuantía fundamentalmente a la hora de aplicar sobre barbechos.

Por su parte, los gastos en semillas son mayores porque la semilla GM tiene un precio de mercado superior a la convencional⁶.

Considerando que los rindes son similares en ambos planteos, la baja en costos permite mejorar los márgenes brutos significativamente (ver Figura 11). En promedio entre 1996 y 2020 los márgenes de un planteo con soja GM superaron a los de un planteo convencional en 29,1 USD/ha. En los últimos años se observa una leve caída en la diferencia entre los márgenes del planteo GM y convencional, por la baja en los precios de los herbicidas.

Figura 11. Aumento en márgenes de aplicar un planteo de soja GM (USD/ha.)



Fuente: estimaciones propias.

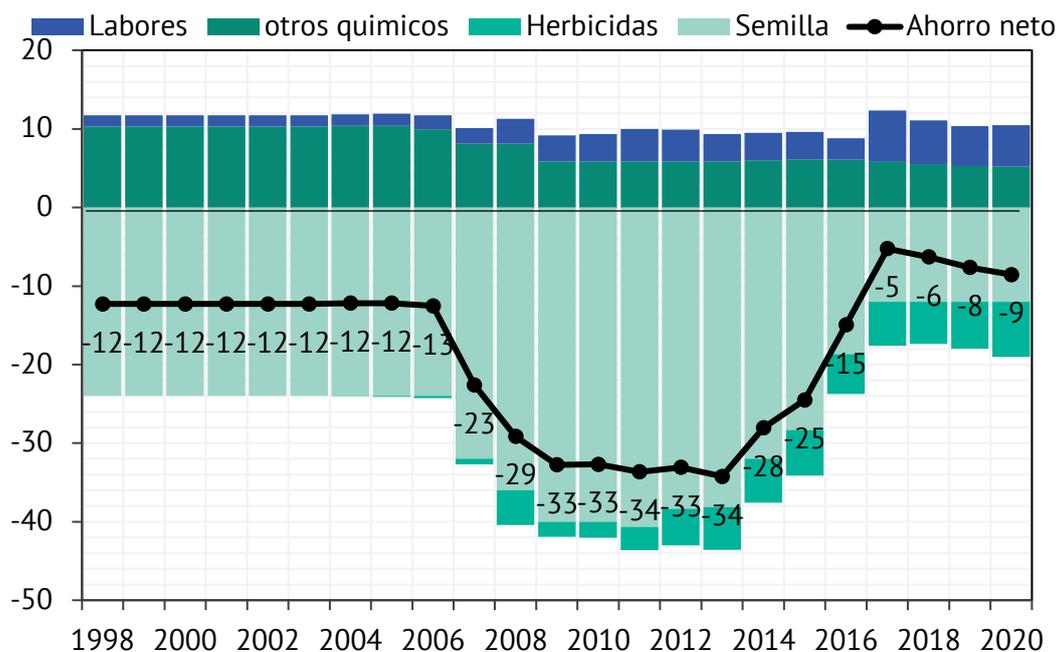
Maíz

Para el caso del maíz GM, se consideraron planteos promedio, teniendo en cuenta la proporción de uso de semillas Bt y Bt+RR (apiladas) en cada campaña. A diferencia de la soja, en el caso del maíz los costos del planteo GM superan ampliamente a los del planteo convencional. En este caso, los resultados también coinciden con los de la literatura relevada.

El planteo con maíz GM presenta mayores costos en los rubros semillas y herbicidas y menores en el rubro labores (ver Figura 12). Nuevamente el caso de las semillas se

⁶ No se realizaron supuestos por el uso de bolsa blanca ni semilla de uso propio.

Figura 12. Ahorro de un planteo de maíz GM vs. no GM por rubro (en USD/ha)



Fuente: estimaciones propias.

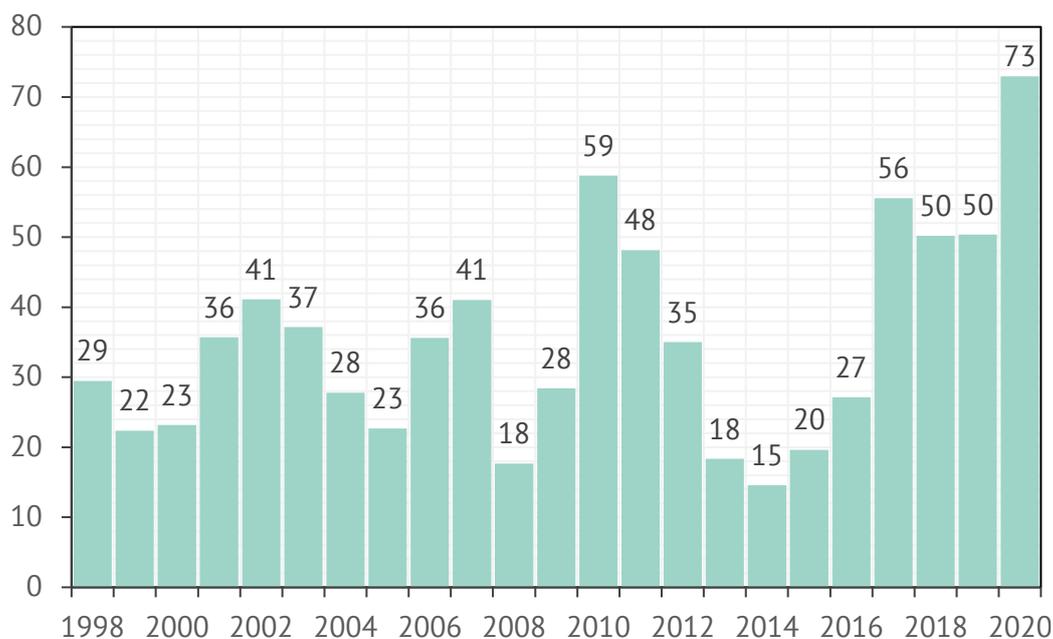
explica por un mayor precio de mercado de la semilla de maíz GM sobre el híbrido convencional, mientras que el mayor gasto en herbicidas se explica por las mayores dosis aplicadas. Las labores, en tanto, son menores por la necesidad de menor cantidad de aplicaciones de insecticidas.

Si bien los costos del planteo GM son mayores, la mejora en rendimientos permite que los márgenes sean sensiblemente mayores a los del planteo convencional.

En la Figura 13 se presenta la evolución de los beneficios de adoptar un planteo de maíz GM. En promedio, los beneficios de adoptar un planteo con cultivos GM significó una mejora en los márgenes de 35 USD/ha.

Se observa también una gran variabilidad en los retornos. En la mayoría de los casos los menores márgenes se explican por caídas en los precios internacionales del maíz. No obstante, en el caso del período 2013-2016, los menores márgenes son consecuencia de las alícuotas de derechos de exportación y las políticas de restricciones a las exportaciones aplicadas en aquellos años, que deprimían el precio doméstico del grano.

Figura 13. Aumento en márgenes de aplicar un planteo de maíz GM (en USD/ha)



Fuente: estimaciones propias.

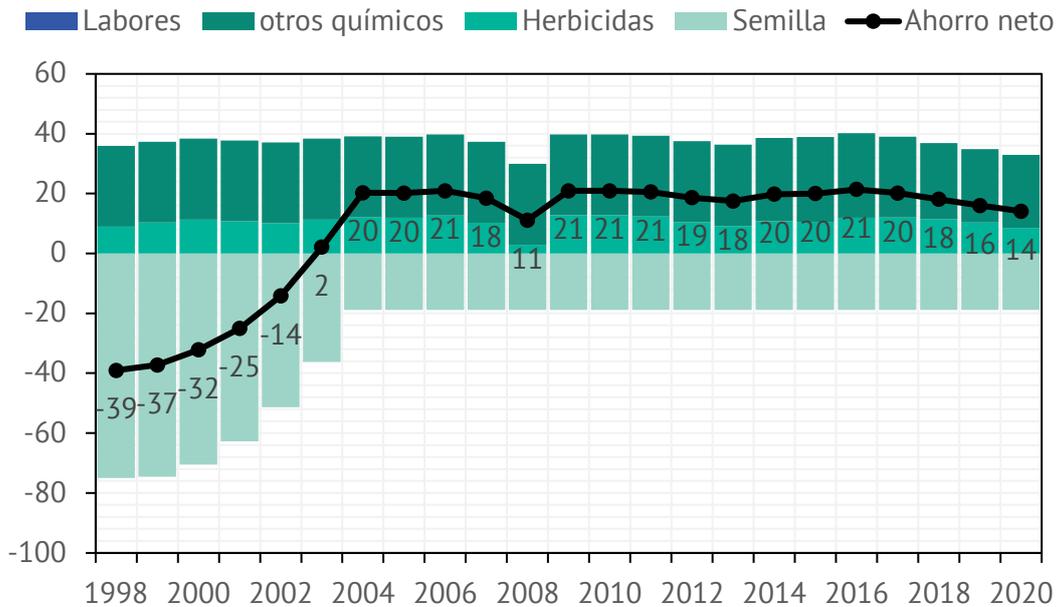
Algodón

La comparación entre un planteo de algodón con semilla convencional y uno con semilla GM arroja que el planteo GM registra menores gastos en herbicidas (en promedio 9 USD/ha de ahorro anual) y menores gastos en la aplicación de otros agroquímicos (en promedio 27 USD/ha por año) explicado mayormente por menores dosis de insecticidas. Como se explicó en la sección previa, en el período 1998 - 2001 uno de los factores que limitó la adopción de la tecnología fue el elevado costo de la semilla GM en comparación con la semilla convencional. Esto se refleja también en nuestras estimaciones las cuales muestran que los gastos en semilla son mayores en el planteo GM: en promedio 30 USD/ha al año (ver Figura 14).

Los mayores gastos en semilla del planteo GM implican un planteo con mayor costo en los primeros años de la tecnología en el país. Sin embargo, con la introducción de nuevos eventos y actores en la comercialización, los costos de las semillas se redujeron. Esto generó que el planteo GM registre ahorros netos positivos a partir del año 2004 de en promedio 16 USD/ha.

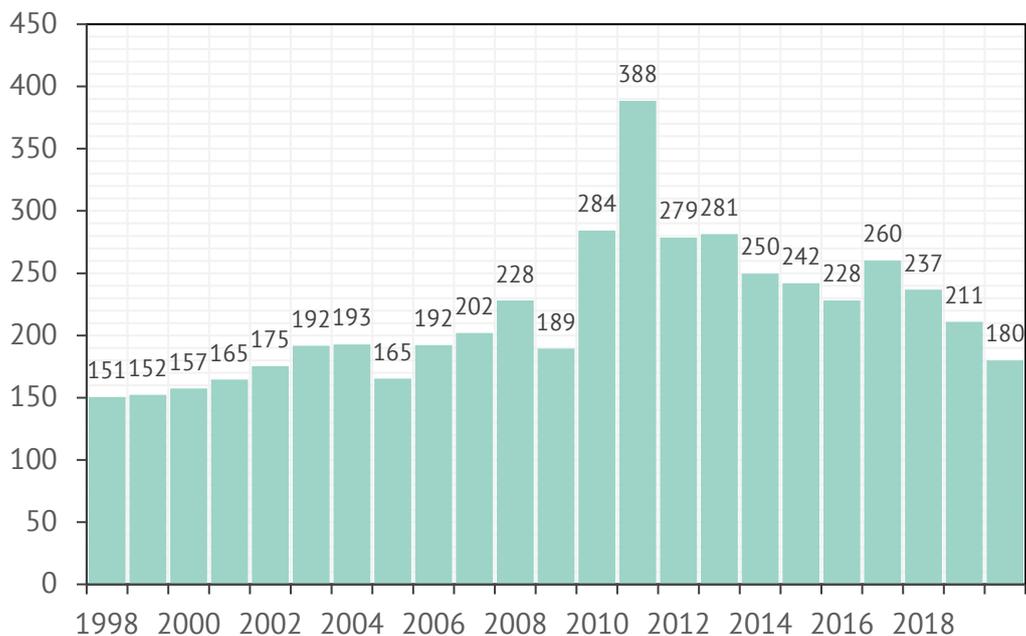


Figura 14. Ahorro de un planteo de algodón GM vs. no GM por rubro (en USD/ha)



Nota: El gasto de la semilla convencional y GM para el período 1998-2000 se obtuvo de De Bianconi (2003) luego se interpola a precios de mercado del año 2004 para completar el período 2001-2003. Fuente: Estimaciones propias en base a De Bianconi (2003), Márgenes Agropecuarios, Quirolo *et al.* (2019), Cámara Algodonera Argentina y consultas a expertos.

Figura 15. Aumento en márgenes de aplicar un planteo de algodón GM (en USD/ha)



Fuente: Estimaciones propias en base a De Bianconi (2003), Márgenes Agropecuarios, Quirolo *et al.* (2019) y consultas a expertos.



Dado que los rendimientos del algodón GM son muy superiores a los de algodón convencional⁷, la comparación de los márgenes brutos de ambos planteos arroja resultados muy favorables para el planteo GM. En el período 1998 - 2020, los productores de algodón GM ganaron en promedio 213 USD/ha más que los productores de algodón convencional (ver Figura 15). A lo largo de los años, esta cifra varió entre los 127 USD/ha y los 388 USD/ha, dependiendo de la cotización del algodón en el mercado⁸.

IV b. Impacto a nivel agregado

En términos agregados los impactos son de tres tipos: (i) extensión del área sembrada por la mejora de los márgenes, (ii) mejora en los márgenes por incrementos en los rendimientos y reducción en los costos de producción, y (iii) impactos en las cadenas de valor de los cultivos. En esta subsección se presenta una estimación de estos beneficios.

Extensión del área cultivada

A partir de la introducción de la soja GM se produjo un quiebre evidente de la tendencia de expansión del área sembrada con soja: entre las 10 campañas que van de 1985/86 a 1995/96 la superficie sembrada con soja aumentó 2,6 millones de hectáreas, mientras que en las diez campañas que van de 1995/96 a 2005/06 trepó 9,4 millones de hectáreas.

Para estimar la magnitud y evolución del flujo de beneficios brutos resultantes de la adopción de cultivos GM se recurrió a un enfoque contrafáctico, contrastando la serie de área efectivamente sembrada con soja, maíz y algodón estimada por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca con los resultados de un escenario alternativo en el que la tasa de crecimiento se mantiene igual a la registrada en el período 1990-1996, descontando el efecto de los precios internacionales, como se explica debajo.

Se optó por este enfoque dado que, al analizar el impacto que representó para la agroindustria argentina el surgimiento de las semillas GM, es difícil aislar el efecto exclusivo de este fenómeno, porque en la práctica se observó de manera simultánea una gran expansión de la siembra directa y el crecimiento del área bajo doble cultivo (invierno y verano) en una misma campaña, lo que fue viable también gracias a los cultivos GM.

⁷ Asumimos que los rindes GM son superiores en un 42%, en línea con De Bianoni (2003), Finger *et al.* (2009) y consultas a expertos.

⁸ Estos resultados están en línea con estimaciones de otros autores. Brookes y Barfoot (2020) asumen rindes de planteos GM 30% superiores a los convencionales y calculan que los márgenes brutos de planteos GM fueron entre 25 USD/ha y 317 USD/ha en el período 1998 -2018.



De ese modo, se estimó el impacto de manera indirecta. A partir de la serie histórica del área sembrada se descompuso el crecimiento en tres componentes: el efecto provocado por las variaciones en precios internacionales, políticas y costos de producción; el efecto de los OGM y las tecnologías asociadas a su implementación; y una tendencia histórica.

El primer componente fue calculado a partir de un modelo de equilibrio parcial construido para este trabajo, que explica los cambios a nivel nacional de las decisiones de siembra en función de los precios. La tendencia se calculó a partir de la información histórica para las campañas 90/91 a 95/96, extrapolando hacia adelante. Descontando ambos efectos de la serie observada, se atribuye la evolución restante a los cambios tecnológicos bajo estudio⁹.

Esta metodología arroja resultados validados con expertos y en línea con los trabajos relevados. Sin embargo, tiene como limitación el hecho de que no se logra aislar qué proporción del efecto corresponde a los cultivos GM de las otras innovaciones estrechamente relacionadas como son la siembra directa o el cambio organizacional que implicó el esquema de organización en red (Bisang *et al.*, 2008).

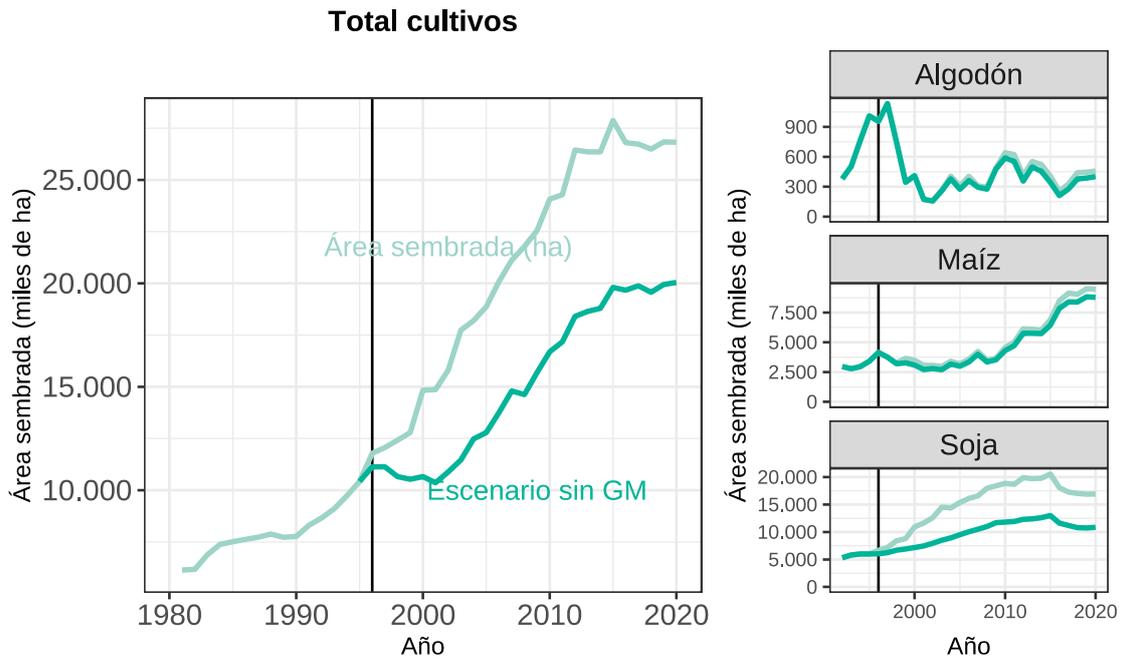
Los cálculos se realizaron a nivel departamental y los resultados se reportan en la Figura 16 y en la Figura A1 del Anexo.

La mayor parte de los beneficios se concentran en el cultivo soja, que se expandió tanto fuera como dentro de las zonas núcleo. Estimamos que, fuera de las provincias de Santa Fe, Córdoba y el noroeste de Buenos Aires, entre el 75% y el 90% de la soja no se hubiera sembrado de no existir los cultivos GM (ver Figura 17). En términos de área, la soja GM implicó una superficie adicional de soja en promedio de 5,4 millones de hectáreas anuales entre 1996 y 2020.

Parte de la expansión de la superficie sembrada con soja se explica por la sustitución de otros cultivos como el maíz y el algodón por lo que el impacto de la introducción de cultivos GM resulta moderada en el caso de estos cultivos. En efecto, se estima que, de no haberse introducido la tecnología, la superficie sembrada con maíz y algodón sería inferior en 333 y 32 mil hectáreas, respectivamente.

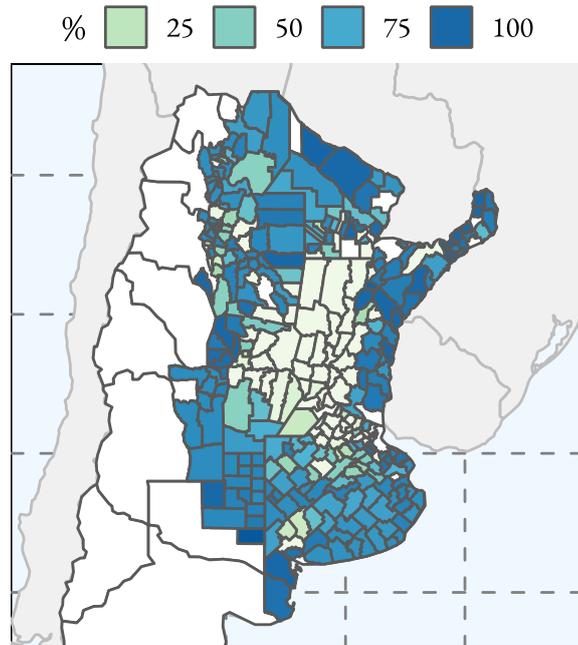
⁹ Un desarrollo de la metodología de estimación se presenta en el [Anexo II](#).

Figura 17. Evolución del área sembrada real vs. área sembrada en escenario sin cultivos GM. En miles de hectáreas.



Fuente: estimaciones propias en base a Dirección de Estimaciones Agrícolas - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca.

Figura 16. Soja: Expansión de área explicada por variedades GM. 1996-2025.



Fuente: estimaciones propias en base a Dirección Nacional de Agricultura - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2020).



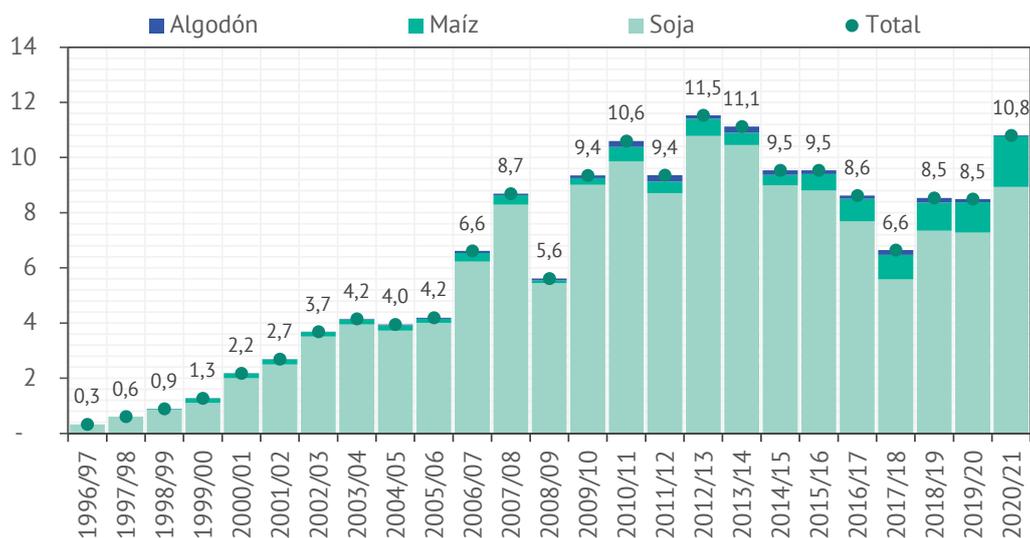
Impacto por mejoras en rinde, reducción de costos y extensión de área sembrada

Asumiendo las mejoras en rendimientos descritas en la sección anterior, y considerando la extensión del área cultivada y las reducciones de costos, se estiman los beneficios brutos de los cultivos GM. Los mismos se reportan en la Figura 18 y en las Tablas A3, A4 y A5 del Anexo.

Entre 1996 y 2020, los beneficios brutos de los cultivos GM fueron en promedio de U\$S 6.342 millones por año, alcanzando un máximo de 11.500 millones en 2012 y promediando 9.000 millones a partir de ese año.

En términos acumulados, en el período 1996-2020 los beneficios fueron de U\$S 159 mil millones lo que representa un equivalente de 7 cosechas argentinas. De este total, el 92% (U\$S 146 MM) corresponden al cultivo de la soja, el 7% (U\$S 10,9 MM) al maíz y el resto (U\$S 2,1 MM) al algodón.

Figura 18: Evolución de beneficios brutos de cultivos GM. En miles de millones de dólares



Fuente: estimaciones propias.

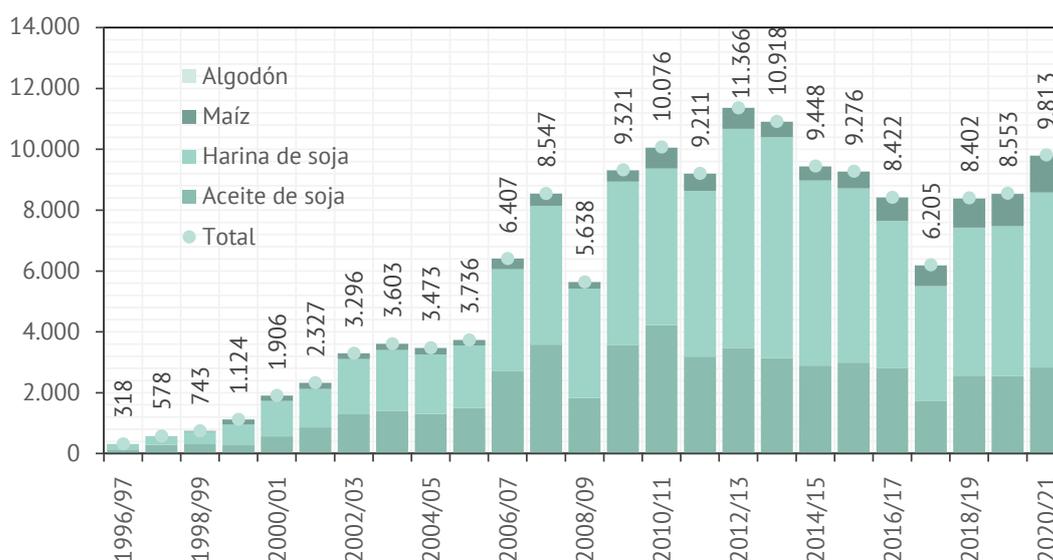
Exportaciones

A partir de los impactos en producción, es posible calcular los beneficios de los cultivos GM en términos de ingresos de divisas para el país. La Figura 19 muestra el incremento en exportaciones para los productos considerados.

Si se suman los 25 años de semillas GM, el crecimiento en exportaciones es de 153 mil millones de dólares. En este total se destaca una gran participación de las harinas de soja, totalizando 89.673 millones de dólares, y del aceite de soja con 51.997 millones. El maíz, por otro lado, aportó unos 10.868 millones de dólares adicionales gracias a esta tecnología, mientras que el algodón totalizó 169 millones, cifra relativamente baja dado que se asumió que el crecimiento de la producción se destinó principalmente al consumo de la industria local.

Una salvedad que puede formularse surge del hecho de que los datos anteriores se enfocaron en las cadenas que corresponden a las tres especies GM analizadas, sin incluir

Figura 19: Impacto en las exportaciones de la tecnología GM. En millones de dólares.



Fuente: Estimaciones propias.

el efecto que la expansión de área pudiera tener sobre otros cultivos. Para responder a esto se tomó como referencia la campaña 20/21, y se recurrió al modelo de equilibrio parcial PEATSim-Ar (INAI, 2018), que permitió estimar que el escenario GM efectivamente se encuentra asociado a una menor producción de otros cultivos, aunque el efecto neto continúa siendo positivo.

De hecho, como se observa en la Tabla 2, frente a los 6,5 millones de hectáreas adicionales cosechadas de los cultivos que cuentan con semillas GM, se estimó una caída de 1,1 millones de hectáreas para el resto, relativo a un escenario sin la aprobación de esta tecnología. Esta baja se reparte en 743 mil hectáreas de trigo, 211 mil de girasol, 79 mil de cebada y 77 mil de sorgo. De manera similar, tanto los incrementos en valor



agregado como en exportaciones se ven moderados por lo que ocurre sobre otros cultivos, siendo el trigo el de mayor impacto.

Tabla 2: Impacto de la tecnología GM sobre otros cultivos extensivos – 2020/2021 – Miles de hectáreas y millones de USD

	Área	VA	Exportaciones
Cultivos GM	6.465	8.883	9.813
Trigo	-743	-426	-442
Girasol	-211	-241	-58
Cebada	-79	-73	-95
Sorgo	-77	-56	-75
Total	5.354	8.086	9.143

En resumen, es posible estimar el impacto neto sobre las exportaciones en 9.143 millones de dólares para 20/21, menores que los 9.813 estimados para los cultivos GM, debido a una retracción de 670 mil millones en otros cultivos.

Beneficios dentro de las cadenas de valor

Para hacer foco en el indicador de Valor Agregado, se recurrió al uso del modelo de Producto Bruto Agroindustrial (PBA). Este mide los principales indicadores económicos de estas actividades en relación con los seis cultivos extensivos más relevantes de Argentina. Esta estrategia permite conocer el crecimiento del valor agregado, su estructura, su distribución entre miembros de la cadena, además de su nivel, lo que permite comparar el sentido del tamaño del sector, por ejemplo, en relación con toda la economía.

De manera introductoria, es posible describir al método de cálculo como indirecto. Es decir, no se trabaja con encuestas de ingresos y gastos a los actores de la cadena, sino que se reconstruyen las cuentas para cada subsector a partir de la información relevada por la Bolsa de Cereales, tanto a nivel de producción (Estimaciones) como de planteos productivos (Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada o ReTAA). Esto permite incorporar los cambios en planteos productivos, área y rendimientos que se describieron arriba. Asimismo, se incorporó una estimación para la producción primaria del algodón, con el fin de abarcar los principales cultivos GM.

El escenario de base considerado constituye el proyectado para la campaña 2020/2021 (Bolsa de Cereales, 2021), y se compara con un escenario alternativo sin OGM en el cual las cantidades producidas se ajustan según los cambios de área y rendimientos de la sección anterior. Esto implica un incremento en la producción de soja de 15,7 millones



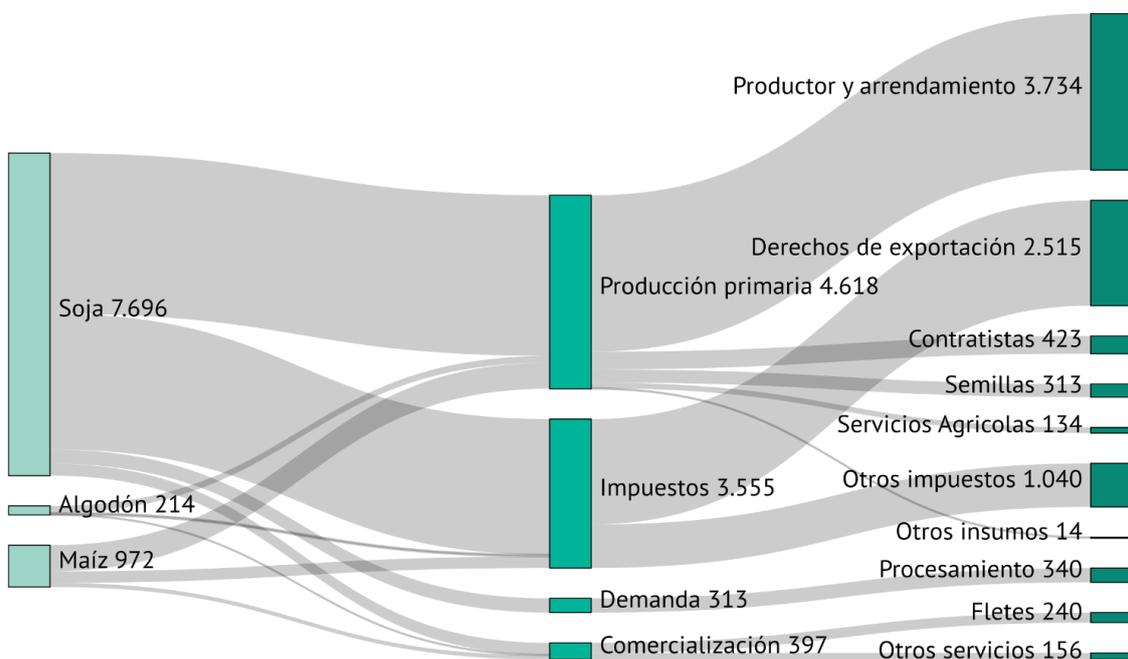
de toneladas con respecto al escenario sin cultivos GM. Para el maíz, el incremento es de 5,18 millones, y 338 mil toneladas para el algodón.

Estos cambios en las cantidades del sector se incorporaron al modelo de cálculo del Producto Bruto Agroindustrial. Para considerar adecuadamente los nuevos paquetes tecnológicos se incluyeron, además, los impactos sobre costos de producción y demanda de insumos asociados los cultivos GM. Finalmente, el uso de estimaciones a nivel regional permitió evaluar de manera más precisa el impacto sobre la demanda de servicios de transporte.

Combinando el impacto de los 3 productos, se estima una mejora del Producto Bruto de 8.883 millones de dólares, explicados por 7.696 millones para la soja, 972 millones para el maíz y 214 millones para el algodón. Esto representa un impacto directo de 2,12% del PBI proyectado por el FMI para 2021.

Esta variación en el valor agregado del sector es posible expresarla de acuerdo con las distintas etapas de las cadenas. Por un lado, 4.618 millones de dólares corresponden a la etapa de producción primaria. En particular, la actividad de producción y/o arrendamiento implicaría 3.734 millones de dólares, como se aprecia en la Figura 20, 423 millones de dólares corresponderían a la actividad de contratistas, 313 millones a la

Figura 20: Impacto de la tecnología GM en el Producto Bruto Agroindustrial: Participación de cultivos y los principales actores del sector – Campaña 2020/2021



Fuente: Estimaciones propias.



producción de semillas, 134 a otros servicios agrícolas y 14 millones de dólares a otros insumos.

Por otro lado, 3.555 millones de dólares representan el incremento de los recursos fiscales gracias a los cultivos GM, repartido entre 2.515 millones de dólares correspondientes a los derechos de exportación y 1.040 millones de dólares a otros impuestos tanto nacionales como provinciales o municipales, siendo el impuesto a las ganancias el principal componente.

El resto del valor agregado incremental es generado tanto en la etapa de comercialización (incluyendo fletes, y otros servicios), y en el incremento del volumen de granos procesados por la industria aceitera.

Estos cambios son de gran magnitud, especialmente si se considera que no se tratan de escenarios que difieren en un evento puntual, como puede ser una sequía, sino que se trata de una comparación entre dos equilibrios de largo plazo, el primero en el que Argentina tiene 25 años de historia de utilización de semillas GM, y el segundo correspondiendo a una hipotética campaña 20/21 en una Argentina en la que nunca se aprobó el uso de esa tecnología.

Como consecuencia del tamaño de los shocks, es de esperar que existan fuertes diferencias estructurales entre ambos escenarios, por ejemplo, en cuanto a la inversión en infraestructura de transporte, almacenamiento y procesamiento de granos o, en menor medida, en relación con el posicionamiento en el mercado internacional. El impacto económico vinculado a estas inversiones no se encuentra considerado aquí, por lo que es interesante notar que los beneficios no se agotan en las cifras estimadas debido a las interacciones económicas con otras cadenas productivas.

Demanda de puestos de trabajo

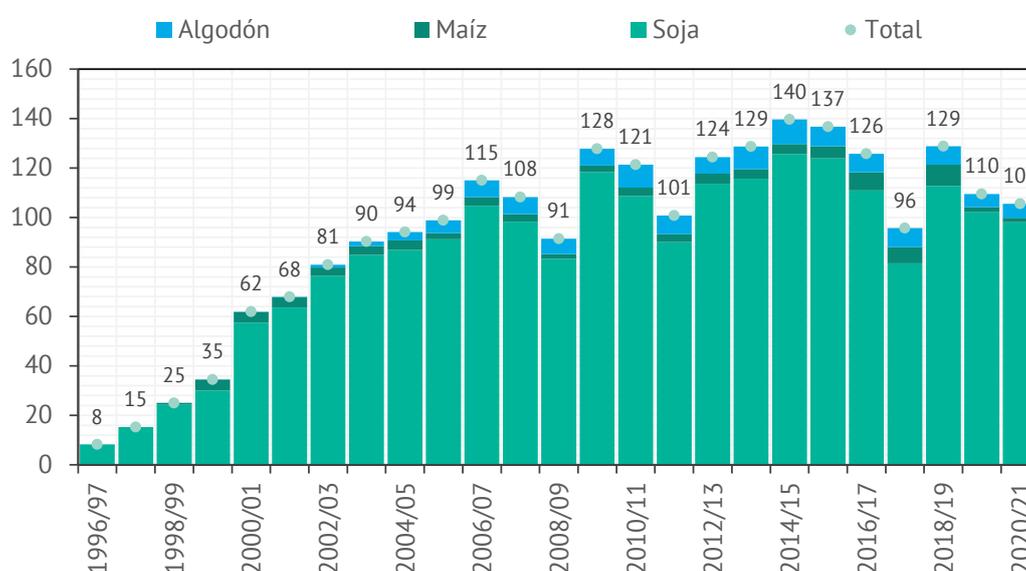
A partir de los impactos en producción es posible estimar también lo que ocurre con la demanda de puestos de trabajo. La metodología tomó como referencia las estimaciones del número de ocupados por producto para 2015 (Bisang y otros, 2018), que incluye información para los eslabones primarios, procesamiento y transporte de cada cadena agroindustrial. A estos datos se aplicaron las variaciones de área sembrada y producción tanto para los escenarios GM y no GM para calcular los cambios en empleo.

Tanto para la etapa de transporte como para el procesamiento industrial se asumieron coeficientes de requerimientos de mano de obra fijos en relación al volumen producido. La molienda de soja se calculó por diferencia con la producción, tomando el comercio como dado, y aplicando luego coeficientes fijos para el cálculo del empleo.

Para el eslabón primario se estimó el impacto, por un lado, sobre el empleo relacionado a la siembra y la aplicación de nutrientes o fitosanitarios, cuyos requerimientos por hectárea no son fijos, sino que siguen la evolución histórica de los planteos a medida que avanza la adopción de material de siembra GM. Por otro lado, para la etapa de cosecha se aplican coeficientes fijos con respecto al volumen producido.

El resultado puede observarse en la Figura 21, donde se aprecia que la demanda adicional de trabajadores gracias a los cultivos GM en relación al escenario sin GM. Esta demanda crece de manera gradual hasta estabilizarse encima de los 100 mil puestos de trabajo cada campaña. Por otro lado, se puede notar que la cifra es, como era de esperarse, fuertemente dependiente de las condiciones climáticas de cada campaña.

Figura 21: Impacto de la tecnología GM en la demanda de empleos directos (en miles de puestos de trabajo)



Fuente: Bolsa de Cereales (2020)

El mayor impacto se observa en la soja, debido a la gran expansión de área para la etapa primaria, y al mayor volumen de molienda. Este efecto ocurre incluso a pesar de que los planteos considerados contemplan que los requerimientos de empleo disminuyen con la mayor adopción tecnológica. De hecho, por cada millón de hectáreas de soja la producción primaria requirió 11.445 puestos de trabajo en 2020/2021, mientras que en el escenario sin OGM la cifra se incrementaría en 648 trabajadores, pero la expansión de área más que compensa esta diferencia.



Tabla 3: Impacto de la tecnología GM en empleos directos – Promedio 25 años

	Primaria	Procesamiento	Transporte	TOTAL
Maíz	2.457	723	325	3.505
Soja	56.774	14.648	13.658	85.080
Algodón	1.388	3.338	165	4.891
Total	60.619	19.303	14.148	93.475

La Tabla 3 promedia los 25 años, donde se aprecia un efecto promedio de 93.475 puestos de trabajo adicionales demandados gracias al crecimiento del sector asociado a los cultivos GM.

Es importante notar que estos incrementos en la demanda de trabajo corresponden a la comparación entre los dos escenarios para cada campaña. Es por ello que estos efectos se encuentran limpios de otros fenómenos exógenos que pueden mover el nivel de empleo más allá de las variables consideradas. Si existe, por ejemplo, un cambio tendencial en los requerimientos en la etapa de procesamiento por inversiones en ese sector, este efecto queda fuera de la estimación. Sin embargo, dado que estos fenómenos impactarían sobre los dos escenarios, el sesgo no debería ser significativo a los efectos del presente estudio.

V. El paquete tecnológico actual: brechas de rendimiento y balance de nutrientes en los suelos argentinos

El balance de nutrientes en el suelo es un indicador que ha adquirido gran relevancia en el sistema productivo argentino durante la última década. Dada su importancia tanto en la dimensión ambiental como productiva, se han realizado numerosas estimaciones, para conocer la situación en los suelos argentinos.

Es importante comprender que estas estimaciones son realizadas en base a un modelo que considera únicamente las entradas vía fertilización y las salidas por extracción en grano en relación a los rendimientos medidos en cada campaña agrícola; y que estos rendimientos aún presentan una brecha importante con respecto al rendimiento potencial. Las transformaciones que sufren los nutrientes dentro de las fracciones del suelo no están consideradas.

A lo largo de las últimas cinco campañas la reposición de nutrientes en Argentina ha mejorado, alcanzando el 58% en la campaña 2019/20. Sin embargo, el balance sigue siendo deficitario. Es decir, se extrae una mayor cantidad de nutrientes que la que se repone. El incremento en las dosis de fertilización y del área fertilizada explican esta



mejora en la reposición. Y la implementación de prácticas de manejo como la siembra directa y los cultivos de cobertura/servicios contribuyen a mantener los niveles de materia orgánica (MO) en el suelo, a partir de la cual, y mediante el proceso de mineralización, quedan los nutrientes disponibles.

Los OGM han permitido alcanzar mayores niveles de rendimiento dado que, como parte de un paquete tecnológico, ayudan a controlar adversidades (malezas, plagas) causales de pérdidas de rendimiento. Pero todavía existe potencial para incrementar los rindes por hectárea en Argentina. El uso de los mismos, acompañados de mejoras en el resto del paquete tecnológico, que incluye la fertilización, permitirán reducir y/o cerrar las brechas de rendimiento actuales, y con ello alcanzar mayores niveles de producción de manera sustentable. De acuerdo al Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada (ReTAA) de la Bolsa de Cereales, existen en las distintas regiones productivas del país brechas en los rendimientos obtenidos por los productores, dependiendo del paquete tecnológico aplicado (Alto, Medio o Bajo). Con incentivos adecuados, que favorezcan que aquellos que adoptan paquetes tecnológicos de baja o media tecnología pasen a adoptar paquetes de alta, los rendimientos promedio podrían subir un 12% para Soja y Maíz. Por otro lado, también existen brechas entre los rindes promedio y los obtenibles para cada cultivo, definidos como el mayor rendimiento alcanzable sin limitantes nutrientes, fitosanitarios y enfermedades, en condiciones de secano. Estas últimas brechas pueden llegar en Argentina al 37% en el caso del Maíz (Alcanzando el Potencial del Agro Argentino, Bolsa de Cereales, 2019).

La importancia de estimar el balance de nutrientes radica en comprender que balances negativos implican que se están incorporando menos nutrientes de los que se extraen y, por el contrario, balances exageradamente positivos resultan en bajas eficiencias de uso de los nutrientes. Ambas situaciones pueden tener consecuencias negativas en el suelo y el ambiente.

El balance de nutrientes también puede ser expresado como porcentaje de reposición, el mismo representa los kilogramos de nutrientes que se reponen por cada 100 kg extraídos. En el presente análisis solo se consideran los principales cultivos extensivos de Argentina.

Entrada de nutrientes

La entrada de nutrientes está explicada principalmente por el aporte vía fertilizantes y, en menor medida, por una serie de prácticas que contribuyen a mantener el nivel de materia orgánica del suelo.

En la campaña 2019/20 los cultivos extensivos explicaron el 82% de un mercado total de fertilizantes que alcanzó 4,68 millones de Tn. Y dentro de ellos, soja, maíz y trigo representaron alrededor del 90%. Trigo y maíz representan una porción importante del mercado de fertilizantes nitrogenados, mientras que soja explica la mayor proporción del mercado de fosfatados. La evolución del consumo de fertilizantes en Argentina muestra una tendencia positiva y sostenida desde la campaña 2016/17. Eso se explica principalmente por los incrementos en área sembrada de maíz y trigo y también por la mejora en las dosis de fertilización de todos los cultivos en general (ReTAA Mensual N° 40, 2021).

De todas maneras, todavía queda mucho camino por recorrer. En Argentina, solo el 23% de productores realizó análisis de suelo para diagnosticar la fertilidad química del mismo en la campaña 2019/20. Al desconocerse la disponibilidad de nutrientes en el suelo difícilmente pueda establecerse el aporte de nutrientes necesario para cubrir el requerimiento nutricional de los cultivos y con ello asegurar el mantenimiento de los niveles de fertilidad de los suelos (ReTAA Mensual, N°41).

Figura 22. Consumo de fertilizantes para los 6 principales cultivos (Millones de Tn)



Fuente: elaborado en base a datos de ReTAA.

Figura 23. Aporte de nutrientes N+P+S (Millones de Tn)

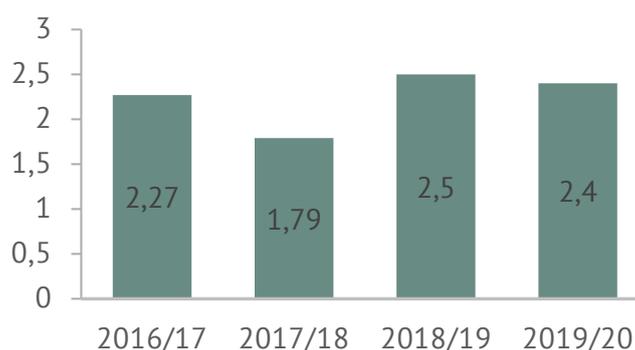


Fuente: elaborado en base a datos de ReTAA.

Salida de nutrientes

La salida de nutrientes está explicada principalmente por la extracción de los mismos a través de la cosecha de granos. A partir del incremento en el área sembrada de los cultivos y de una mejora en la tecnología aplicado a los mismos, la producción de granos en Argentina se ha incrementado y alcanzó un volumen récord de 137 millones de toneladas en la campaña 2018/19. Junto con la mayor producción también ha aumentado la extracción de nutrientes del suelo. El menor nivel de extracción se observó en la campaña 2017/18 con casi 1,8 millones de Tn, y estuvo directamente relacionada a la sequía que afectó gran parte del área agrícola generó una caída en producción.

Figura 24. Extracción N+P+S (Millones de Tn)



Fuente: elaborado en base a datos de ReTAA.

Reposición de nutrientes

De la diferencia entre ingresos y salidas, se obtiene el balance de nutrientes en términos de porcentaje de reposición. Como muestra la figura 25, la reposición de nutrientes a nivel país ha mejorado en las últimas cinco campañas. Al desagregar por nutriente también se observan mejoras. En la campaña 2019/20 nitrógeno alcanzó una reposición del 60%, fósforo del 68% y azufre del 26%.

A nivel cultivo, trigo presenta los mayores niveles de reposición como puede observarse en la figura 26. Esto se debe en parte a una fertilización de base dirigida al doble cultivo trigo-soja de segunda. Es importante aclarar que el cálculo del este balance se realizó para cada cultivo de forma individual, sin considerar el enfoque de doble cultivo.

Soja presenta la menor reposición de nutrientes. Este cultivo no suele fertilizarse con nitrógeno, sin embargo, el aporte de nitrógeno a partir de fuentes fosfatadas que lo

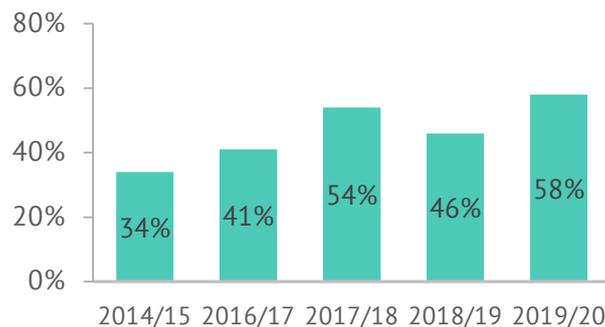


contienen en su composición (i.e. fosfato diamónico) es contabilizado. Por otro lado, se asume que el 60% del nitrógeno es aportado por la fijación biológica.

Si bien todos estos porcentajes de reposición actual (a nivel país, nutriente y cultivo) son los más altos de la serie, la cantidad de nutrientes aportados siguen estando por debajo de los extraídos.

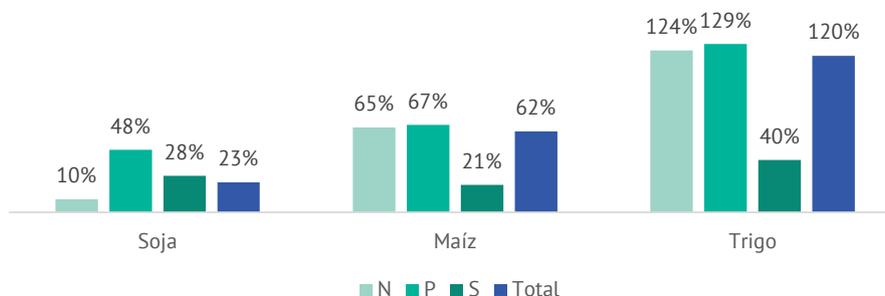
En Argentina los niveles de producción son cada vez más elevados y estos vienen siendo acompañados por mejoras continuas en el manejo y el paquete tecnológico aplicado a los cultivos. Sin embargo, como se desprende de este análisis, la nutrición de los cultivos y del suelo son un aspecto clave a mejorar para la conservación del recurso suelo y la sostenibilidad del sistema.

Figura 25. Reposición de Nitrógeno + Fósforo + Azufre



Fuente: elaborado en base a datos de ReTAA.

Figura 26. Reposición para soja, maíz y trigo. Campaña 2019/20



Fuente: elaborado en base a datos de ReTAA.

En paralelo, para la mejora del manejo de la fertilización con vistas a alcanzar la neutralidad de los balances, deben considerarse las actuales brechas de rendimiento de



cada cultivo. El paquete tecnológico actual todavía tiene mucho para dar en términos de beneficios. Es posible continuar mejorando los rendimientos en Argentina cerrando las brechas entre productores y con los rendimientos obtenibles. Pero para esto será clave redoblar esfuerzos para seguir incorporando herramientas que permitan ajustar la fertilización, como el análisis de suelo tecnología disponible y que presenta un bajo costo de implementación (ReTAA Mensual N° 39, 2020).

VI. Impacto ambiental de los cultivos GM

Si bien la introducción de cultivos GM ha ofrecido numerosas ventajas para los productores y la economía del país, existen inquietudes acerca del impacto ambiental que han tenido los mismos. En particular, en el caso de las variedades tolerantes a herbicidas estas preocupaciones incluyen los efectos del uso de herbicidas sobre la salud y sobre la persistencia y propagación en el medio ambiente por uso excesivo o por la ausencia de buenas prácticas agropecuarias.

En ese marco, el objetivo de esta sección es analizar el impacto ambiental de los cultivos GM en dos frentes: (i) sobre las cantidades aplicadas de herbicidas, fungicidas e insecticidas y (ii) sobre emisiones de dióxido de carbono.

VI. a. Impacto sobre uso de agroquímicos

Una metodología frecuentemente utilizada en la literatura¹⁰ a la hora de analizar el impacto en el medio ambiente del uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas es el Cociente de Impacto Ambiental (EIQ¹¹). El EIQ es un índice que integra los diversos impactos ambientales de los agroquímicos (impacto sobre el aplicador, el recolector, el trabajador del campo, el consumidor, los peces, aves y abejas, entre otros factores) en un único valor por hectárea de modo de hacer comparables los distintos insumos. El EIQ fue desarrollado inicialmente en Kovach (1992) y es actualizado periódicamente por la Universidad de Cornell (Eshenaur *et al.* 2020). Mayores niveles de EIQ están asociados a mayores niveles de toxicidad. Por ejemplo, la atrazina tiene un EIQ de 22,9 y el glifosato uno de 15,33.

Para determinar el impacto de los cultivos GM en el uso agroquímicos se deben comparar las dosis aplicadas en planteos con semillas GM contra planteos de semilla convencional. Como se expresó en la sección IV.a., los trabajos que realizan relevamientos a campo en los años iniciales de la tecnología en el país (único período en el que coexisten

¹⁰ Ver por ejemplo Naranjo (2009) y Brookes y Barfoot (2005).

¹¹ Por sus siglas en inglés Environmental Impact Quotient (EIQ).



simultáneamente planteos GM y convencionales) encuentran que los planteos GM registraban menores dosis aplicadas de herbicidas e insecticidas y a su vez los insumos aplicados eran de un grado menor de toxicidad. Sin embargo, una vez que los niveles de adopción alcanzaron niveles cercanos al 100%, la comparación entre planteos GM y no GM mediante encuestas a productores se vuelve impracticable. En ese sentido, una técnica usual en la literatura¹² ha sido la de comparar planteos GM típicos con planteos convencionales elaborados a partir de la consulta a expertos.

Soja GM

En las Tablas 4 y 5 se presentan planteos típicos de soja GM y no GM. Allí se observa que los planteos con semilla convencional registran aplicaciones de ingrediente activo de 3,71 kg/ha con un valor de EIQ en campo de 86,3 mientras que los planteos con semilla GM exhiben aplicaciones de ingrediente activo de 3,54 kg/ha pero, dado que la toxicidad de estos insumos es muy inferior, el valor de EIQ en campo es de 60,62, un 30% menor.

Comparando las dosis aplicadas actualmente con un escenario en que la totalidad de la superficie sembrada registrara un planteo de semilla convencional, el ahorro en ingrediente activo aplicado en la campaña 2019/20 sería de 2,89 millones de kg y el valor de EIQ aplicado sería inferior en 436,5 millones. Es decir, la existencia de semillas GM dio lugar a una reducción significativa en el uso de herbicidas e insecticidas tanto en cantidad de ingrediente activo liberado al ambiente como en los niveles de toxicidad de los mismos (ver Tabla 6).

Tabla 4. Planteo típico de soja convencional (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo

I	Principio activo	EIQ (1)	Concentración ingrediente activo (%) (2)	Dosis aplicada (kg/ha) (3)	Ingrediente activo (kg/ha) (4) = (2)*(3)	EIQ en campo (5) = (1)*(4)
Inoc. + Fungic.	Carbendazim + Thiram	79,8	25 gr./100 ml	0,26	0,06	4,82
2-4D	2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	50 gr./100 ml	1,38	0,60	10,0
Glifosato concentrado	Glifosato	15,3	64,5 gr./100 ml	2,93	1,61	24,7
Metribuzim	Metribuzin	28,4	41%	1,39	0,57	16,19
Imazetapir	Imazapyr	22,3	11%	0,63	0,07	1,49

¹² ver por ejemplo Brookes y Barfoot (2020).

Diamidas	Chlorantraniliprole	18,3	20 gr./100 ml	0,08	0,02	0,29
Confidor	Imidacloprid	36,7	350 gr./l	0,23	0,7	25,70
DECIS 10%	Deltamethrin	28,4	10 gr./100 ml	0,19	0,02	0,6
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	27,0	12,5%	0,46	0,06	1,56
	Epoconazole	57,7	4,7%	0,46	0,02	1,25
TOTAL				7,93	3,71	86,3

Fuente: Eshenaur *et al.* (2020), ReTAA, datos de la industria y consulta a expertos.

Tabla 5. Planteo típico de soja GM (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo

Insumo	Principio activo	EIQ (1)	Concentración ingrediente activo (%) (2)	Dosis aplicada (kg/ha) (3)	Ingrediente activo (kg/ha) (4) = (2)*(3)	EIQ en campo (5) = (1)*(4)
Inoc. + Fungic.	Carbendazim + Thiram	79,8	25 gr/100 ml	0	0,06	4.82
2-4D	2.4-D dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	50 gr/100 ml	1,38	0,6	10,0
Glifosato concentrado	Glifosato	15,3	64,5 gr/100 ml	5,04	2,78	42,6
Metsulfurón	Metsulfuron-methyl	16,7	60%	0,01	0,01	0,09
Diamidas	Chlorantraniliprole	18,3	20 gr/100 ml	0,09	0,02	0,29
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	27,0	12,5%	0,46	0,06	1,56
	Epoconazole	57,7	4,7%	0,46	0,02	1,25
TOTAL				7,45	3,54	60,62

Fuente: Eshenaur *et al.* (2020), ReTAA, datos de la industria y consulta a expertos.

Tabla 6: Reducción del uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas en soja a nivel nacional (en kg. de ingrediente activo y EIQ)

Campaña	Ahorro en ingrediente activo aplicado (en kg.) (negativo significa mayor uso)	Ahorro EIQ (negativo significa mayor uso)
1996/97	62.645	9.463.080
1997/98	298.656	45.114.624
1998/99	815.388	123.171.552
1999/00	1.129.480	170.617.920
2000/01	1.563.932	236.245.728
2001/02	1.851.708	279.716.832
2002/03	2.077.740	313.860.960



Campana	Ahorro en ingrediente activo aplicado (en kg.) (negativo significa mayor uso)	Ahorro EIQ (negativo significa mayor uso)
2003/04	2.432.955	367.519.320
2004/05	2.423.520	366.094.080
2005/06	2.597.056	392.308.224
2006/07	2.737.000	413.448.000
2007/08	2.822.000	426.288.000
2008/09	3.060.000	462.240.000
2009/10	3.213.000	485.352.000
2010/11	3.213.000	485.352.000
2011/12	3.179.000	480.216.000
2012/13	3.400.000	513.600.000
2013/14	3.349.000	505.896.000
2014/15	3.366.000	508.464.000
2015/16	3.485.000	526.440.000
2016/17	3.077.000	464.808.000
2017/18	2.941.000	444.264.000
2018/19	2.890.000	436.560.000
2019/20	2.890.000	436.560.000

Fuente: Elaboración propia.

Maíz GM

En el caso del maíz, la comparación entre planteos con semilla convencional (Tabla 7) y semilla GM (Tabla 8) muestra que los volúmenes de ingrediente activo son inferiores en los planteos con semilla convencional, 5,6 kg/ ha vs. 6,29 kg/ha. Sin embargo, los valores de EIQ en campo son inferiores en el caso del planteo GM 122,9 vs 123,6. Nuevamente, la menor toxicidad de los insumos de los planteos GM explica la baja del cociente de impacto ambiental.

Tabla 7. Planteo típico de maíz convencional (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo

Insumo	Principio activo	EIQ (1)	Concentración ingrediente activo (%) (2)	Dosis aplicada (kg/ha) (3)	Ingrediente activo (kg/ha) (4) = (2)*(3)	EIQ en campo (5) = (1)*(4)
2-4D	2,4-D dichlorophenoxy acetic ácido	16,7	50 gr./100 ml	1,49	0,65	10,82
Atrazina	Atrazina	22,9	50 gr./100 ml	2,2	1,0	22,9
Glifosato	Glifosato	15,3	64.5 gr./100	2,9	1,6	24,7

concentrado			ml			
Metolaclor	Metolacloro	22,0	96 gr./100 ml	1,7	1,4	31,7
Piclorám	Piclorám	18,0	24 gr./100 ml	0,4	0,1	1,3
Decis	Deltamethrin	28,4	10 gr./100 ml	0,2	0,02	0,6
Confidor	Imidacloprid	36,7	350 g/l	0,2	0,7	25,7
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	27	0,125	0,5	0,1	1,7
	Epoconazole	58	0,047	1,6	0,1	4,3
TOTAL				11,2	5,6	123,7

Fuente: Eshenaur *et al.* (2020), ReTAA, datos de la industria y consulta a expertos.

Tabla 8. Planteo típico de maíz GM (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo

Insumo	Principio activo	EIQ (1)	Concentración ingrediente activo (%) (2)	Dosis aplicada (kg/ha) (3)	Ingrediente activo (kg/ha) (4) = (2)*(3)	EIQ en campo (5) = (1)*(4)
2-4D	2,4-D dichlorophenoxy acetic ácido	16,7	50 g/100 ml	1,49	0,65	10,82
Atrazina	Atrazina	22,9	50 g/100 ml	4,11	1,85	42,3
Glifosato concentrado	Glifosato	15,3	64,5g/100 ml	3,95	2,18	33,4
Metolaclor	Metolacloro	22,0	96 g/100 ml	1,67	1,44	31,68
Piclorám	Piclorám	18,0	24 g/100 ml	0,18	0,04	0,68
Diamidas	Chlorantraniliprole	18,3	20 g/100 ml	0,28	0,05	0,91
Fungicida (Estrob. + Triazol)	Pyraclostrobin	27	0,125	0,51	0,06	1,73
	Epoconazole	57,7	0,047	0,51	0,02	1,39
TOTAL				12,71	6,29	122,89

Fuente: Eshenaur *et al.* (2020), ReTAA, datos de la industria y consulta a expertos.

Algodón GM

El algodón es uno de los cultivos que utiliza más agroquímicos durante su ciclo. Los algodones GM se propusieron superar dos problemas clave de los cultivos: el alto costo del manejo de malezas y las graves pérdidas causadas por las plagas de lepidópteros. Si bien a nivel mundial, efectivamente se obtuvo una reducción del 43% en el consumo de pesticidas en algodón, en América Latina la evolución ha sido la contraria: entre 1999 y 2009, el valor de venta de herbicidas para algodón se ha más que duplicado y el de



insecticidas es prácticamente cuatro veces mayor (Wakelyn y Chaudhry, 2010 y Valeiro, 2018). Argentina no escapó a esta tendencia.

Luego del éxito inicial en los primeros años de tecnología en el país en el que efectivamente se registraron reducciones significativas en las dosis aplicadas de herbicidas e insecticidas con aumentos de los rendimientos y mejoras de los márgenes, a partir de 2003 la importancia de la tecnología comenzó a pasar desapercibida debido a la expansión del picudo algodonero, una de las plagas que más afecta a este cultivo. Valeiro (2018) destaca esto en su trabajo:

“A partir de 2003, el picudo se expandió hacia todo el noreste argentino incrementándose exponencialmente el uso de insecticidas, enmascarando la ventaja de los algodones Bt en términos de reducción de su uso y baja de costos de producción.”

En las Tablas 9a a 9e se presenta la evolución del uso de herbicidas e insecticidas de acuerdo a distintos planteos típicos en el período 1997 - 2015 (Tabla A10a). En 1997 el planteo con semilla convencional registraba un EIQ en campo de 107,3, un registro superior al de los planteos con semilla GM vigentes hasta 2008 con valores de EIQ de 66,2 y 81,5 (ver Tabla A10b y Tabla A10c). Es decir, que los planteos GM efectivamente lograron mitigar el impacto ambiental en la primera década del algodón GM en Argentina.

Ya en 2013, la aparición de malezas resistentes impulsada, en parte, por un manejo deficiente de la tecnología, y la expansión de la plaga del picudo algodonero elevaron las dosis medias de glifosato de 4 a 8 litros por hectárea. El rezago en la introducción de nuevos eventos biotecnológicos producto de la debilidad de los derechos de propiedad y de la incapacidad de generar retornos que promuevan la innovación es también uno de los factores identificados por la literatura como determinantes de la pérdida de efectividad (Vaquero y Fried, 2019).

Esta tendencia continuó en los años posteriores. Para el año 2015, de acuerdo a datos de Quirolo *et al.* (2015), las dosis de glifosato treparon a 13 litros por hectárea en promedio lo que ha reducido la rentabilidad e incrementado el impacto ambiental de la producción de algodón. De hecho, los niveles de EIQ de los planteos posteriores a 2015 son superiores a 170, es decir, superan a los previos a la introducción de los cultivos GM revirtiendo las ganancias en términos ambientales logradas durante la primera década.



Tablas 9. Planteos algodón GM y convencional año 1997, 2008 y 2015 en distintas regiones del país. Dosis aplicadas, EIQ y EIQ en campo.

Tabla 9a

Fuente	Tipo semilla	Región	Tipo insumo	Principio activo	Dosis (l)	Concentración (%)	EIQ	EIQ en campo
Revista Agromercado, 1997	Convencional	Santiago del Estero	Herbicidas	Haloxifop	0,5	54	20,2	5,5
			Herbicidas	Pyroxsulam	2	4,5	12,3	1,1
			Herbicidas	Metsulfurón	2	60	16,7	20
			Herbicidas	Diuron	1	65	26,5	17,2
			Herbicidas	MSMA	2	96	18	34,6
			Insecticidas	Beta cyflutrín	0,13	80	31,6	3,3
			Insecticidas	cipermetrina	0,3	25	36,4	2,7
			Insecticidas	endosulfan	1,7	35	38,6	22,9
Total								107,3

Tabla 9b

Fuente	Tipo semilla	Región	Tipo insumo	Principio activo	Dosis (l)	Concentración (%)	EIQ	EIQ en campo
Ybran y Lacelli, 2008	RR	Reconquista (Sta. Fé)	Herbicidas	Glifosato	4,0	62,0	15,3	37,9
			Herbicidas	2.4 D	0,5	50,0	16,7	4,2
			Insecticidas	Dimetoato	0,3	50,0	33,5	4,2
			Insecticidas	Novalurone	0,1	10,0	14,3	0,1
			Insecticidas	Cipermetrina	0,1	25,0	36,4	0,5
			Insecticidas	Clorpirifós	1,5	48,0	26,9	19,3
Total								66,2

Tabla 9c

Fuente	Tipo semilla	Región	Tipo insumo	Principio activo	Dosis (l)	Concentración (%)	EIQ	EIQ en campo
Elena, 2009	NuOpal RR	Sáenz Peña (Chaco)	Herbicidas	Diuron	1,0	65,0	26,5	17,2
			Herbicidas	Acetoclor	1,3	84,0	19,9	21,7
			Herbicidas	Glifosato	2,0	62,0	15,3	19,0
			Insecticidas	Tiametoxam	0,2	14,1	33,3	0,9

			Insecticidas	Lambdacialotrina	0,2	10,6	44,2	0,9
			Insecticidas	Metoxifenocide	0,4	24,0	32,1	2,8
			Insecticidas	Mercaptotion	1,0	51,5	23,8	12,3
			Insecticidas	Dimetoato	0,4	50,0	33,5	6,7
Total								81,5

Tabla 9d

Fuente	Tipo semilla	Región	Tipo insumo	Principio activo	Dosis (l)	Concentración (%)	EIQ	EIQ en campo
Ybran, 2013	BG o RR	Reconquista (Sta, Fé)	Herbicidas	Glifosato	8,0	62,0	15,3	75,9
			Herbicidas	2,4D	0,5	50,0	16,7	4,2
			Insecticidas	Dimetoato	0,3	50,0	33,5	4,2
			Insecticidas	Cipermetrina	0,1	25,0	36,4	0,5
			Insecticidas	Novalurone	0,1	10,0	14,3	0,1
			Total					

Tabla 9e

Fuente	Tipo semilla	Región	Tipo insumo	Principio activo	Dosis (l)	Concentración (%)	EIQ	EIQ en campo
Quirolo, 2015	BGDP 1238 BG/RR NuOpal RR DP 402 BG/RR G 2000 RR	Sáenz Peña (Chaco)	Herbicidas	Glifosato	13,0	62,0	15,3	123,3
			Herbicidas	2,4D	1,0	50,0	16,7	8,3
			Herbicidas	Acetoclor	1,5	84,0	19,9	25,1
			Herbicidas	Diuron	1,0	65,0	26,5	17,2
			Total					

Fuente: Propia en base a Valeiro (2018) y fuentes citadas.

VI. b. Impacto sobre emisiones de dióxido de carbono

Uno de los principales beneficios de la adopción de cultivos GM fue que facilitó la adopción de la siembra directa. A partir de la introducción de cultivos GM, la siembra directa ganó terreno rápidamente y fue una solución efectiva al problema de la erosión de los suelos (ver Figura 27). Entre los principales beneficios de esta práctica agronómica se encuentran:

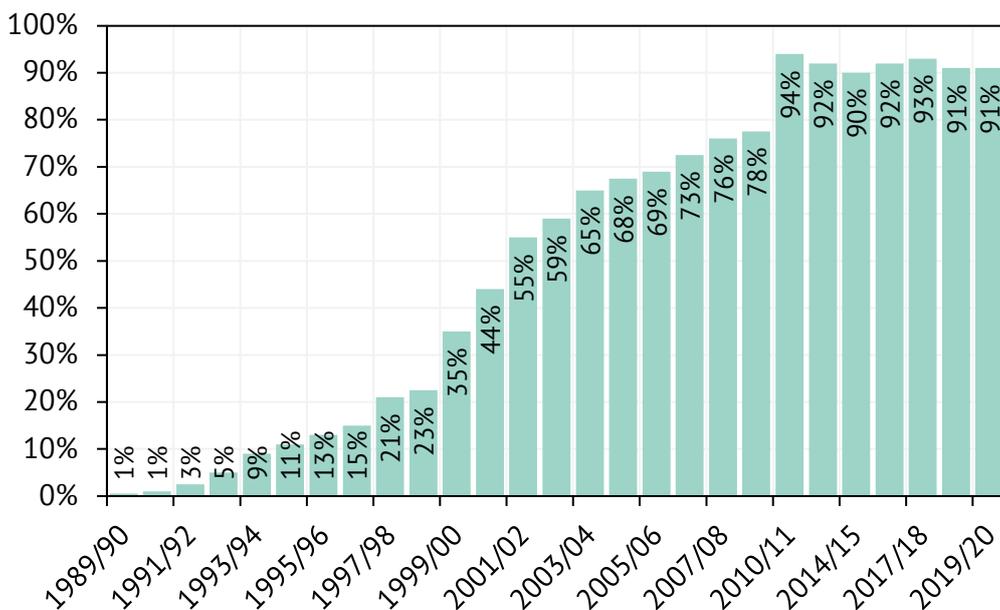
- Mejora el aprovechamiento del agua.



- Protege contra la erosión (90% menos de erosión respecto a la labranza tradicional).
- Mejora el balance de la Materia Orgánica.
- Disminuye la formación de costras superficiales.
- Aumenta la oportunidad de siembra.
- Permite sembrar donde arar no era posible por falta de agua.
- Prolonga el ciclo agrícola.
- Otorga mayor estabilidad en los rendimientos.
- Extiende de la vida útil del tractor (reducción de uso del 66%).
- Ahorra el uso de combustible y emisiones contaminantes.
- Aumenta significativamente las hectáreas trabajadas por persona.

Según estimaciones de INTA (2011), reduce la cantidad de maquinaria utilizada, lo que conlleva un 40% menor en el consumo de combustible respecto a la labranza tradicional y permite obtener desde un 25 a 40% más de rendimiento de los cultivos a iguales precipitaciones con mayor estabilidad a través de los años.

Figura 27: Porcentaje de productores que realizan siembra directa en Argentina



Fuente: AAPRESID y Bolsa de Cereales – ReTAA.



En términos ambientales la siembra directa genera beneficios sobre el medio ambiente en al menos dos frentes: por un lado, reduce las emisiones de gases por menor cantidad de aplicaciones y menor uso de combustible; por otro lado, la siembra directa facilita la absorción de carbono orgánico del suelo. En esta subsección se estiman ambos efectos.

Reducción de emisiones por menor uso de combustible

Para estimar el ahorro de combustible de los sistemas de SD, recurrimos al trabajo de West y Marland (2002) que estima los requisitos de energía de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono de la maquinaria agrícola para diferentes sistemas de labranza. Los resultados de su trabajo se presentan en la Tabla 10. Allí se observa que los sistemas de SD registran emisiones de 23,26 kg C/ha mientras que la siembra convencional y reducida presenta emisiones de carbono por 72 y 40,27 kg C/ha en el caso del maíz y, de 67,45 y 40,7 kg C/ha en el caso de la soja. Es decir que, según las estimaciones de los autores, la SD implica una reducción de emisiones en comparación con la siembra convencional de 48 kg C/ha para el maíz y de 44 kg C/ha en el caso de la soja.

Tabla 10. Requisitos anuales de energía de combustibles fósiles y emisiones de dióxido de carbono de la maquinaria agrícola para diferentes prácticas de labranza

	Combustible diesel		Energía (a)	Emisiones carbono	SC (b)	SR (b)	SD (b)
	l/ ha	MJ/ ha	MJ/ ha	kg C/ ha	kg C/ ha	kg C/ ha	kg C/ ha
Arado de vertedera	21,78	1122	102	26,75	26,75	-	-
Arado a Disco	6,7	345	55	8,72	17,44	17,44	-
Siembra	4,93	254	58	6,79	6,79	6,79	6,79
Cultivo único (c)	3,26	168	42	4,57	4,57	4,57	-
Fertilización	9,82	506	60	12,35	-	-	-
Pulverización	1,22	63	56	2,54	-	-	-
Cosecha	11,14	574	186	16,47	16,47	16,47	16,47
Emisiones totales (kg C/ha)							
Maíz					72,02	45,27	23,26
Soja y trigo (c)					67,45	40,7	23,26

Notas:

(a) La energía incorporada en la fabricación, transporte y reparación de maquinaria.

(b) SC, SR y SD son siembra convencional, siembra reducida y siembra directa, respectivamente.

(c) El cultivo único no se incluye en los análisis de trigo, soja u otros cultivos que no sean en hileras.

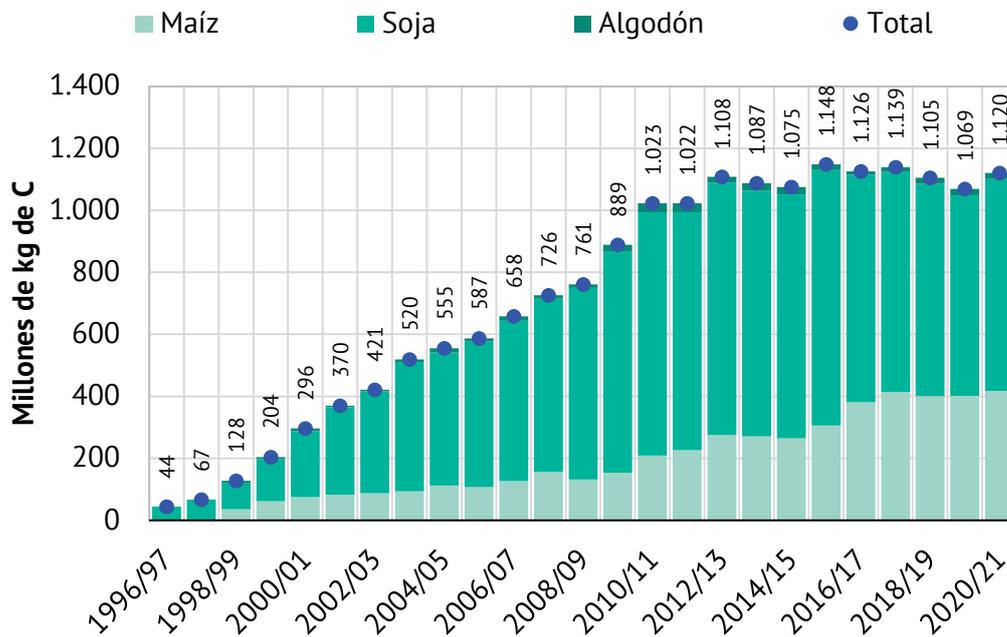
Fuente: Adaptado de West y Marland (2002).

A partir de la evolución de la superficie con SD y las estimaciones de la Tabla 10 se estimó la reducción de las emisiones de dióxido de carbono por reducción en el uso de combustible para los tres cultivos. Los resultados se reportan en la Figura 28.



Con los porcentajes de adopción de SD vigentes hasta 1996 las emisiones de dióxido de carbono serían superiores en más de 1.000 millones de kg por año, el equivalente al consumo anual de 240 mil autos (EPA, 2011). En el acumulado del período 1996-2020 se hubieran volcado al ambiente más de 18 mil millones de kg de carbono, equivalente al consumo anual de 3,9 millones de autos particulares.

Figura 28. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible 1996-2020 (millones de kg)



Fuente: elaboración propia. Nota: calculado en base a Marland *et al.* (2002), Para algodón se asume la misma reducción por hectárea que para maíz.

Reducción de emisiones por secuestro de carbono

La agricultura y la ganadería son actividades económicas que contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (GEI). El cambio de uso de la tierra asociado a estas actividades es una de las fuentes de los tres principales GEI: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). Las principales fuentes de GEI en la agricultura son la producción de fertilizantes nitrogenados; el uso de combustibles fósiles (como carbón, gasolina, diésel y gas natural); y la gestión de residuos. En ganadería, la fermentación que tiene lugar en los sistemas digestivos de los rumiantes es fuente de emisiones de metano.

Si bien los suelos contribuyen con una parte significativa de las emisiones agrícolas, una mejor gestión del suelo puede reducir sustancialmente estas emisiones y secuestrar parte del CO₂ de la atmósfera (Paustian *et al.*, 2016). El dióxido de carbono es removido de la



atmósfera y convertido en carbono orgánico mediante el proceso de fotosíntesis. A medida que el carbono orgánico se degrada, se vuelve a convertir en dióxido de carbono mediante el proceso de respiración. La siembra directa, los cultivos de cobertura y la rotación de cultivos pueden aumentar significativamente la cantidad de carbono almacenado en los suelos.

A su vez, el carbono orgánico del suelo juega un papel fundamental en la determinación y el mantenimiento de importantes condiciones físicas y funciones del suelo. Así como también influye, en gran medida, en la estructura del suelo y sus propiedades relacionadas (por ejemplo, retención de agua y densidad aparente), al contribuir a la formación de agregados estables. Una reducción del carbono orgánico del suelo implica un deterioro de su calidad y productividad.

Las prácticas de manejo pueden influir significativamente en la capacidad del suelo de almacenar el carbono secuestrado del ambiente. Alvarez *et al.* (2014), realiza un experimento durante 15 años en la Pampa Argentina para evaluar el impacto de tres sistemas de siembra (siembra directa, siembra directa con cultivo de cobertura en invierno y siembra convencional) y dos secuencias de cultivos (soja-maíz y monocultivo de soja) sobre el stock de carbono orgánico total (COT) en el suelo. Los autores concluyen que ambos factores (sistema de labranza y secuencia de cultivo) afectan el COT. Sus resultados indican que los planteos con siembra directa acumulan 333 kg/ha por año más de COT que la siembra convencional para profundidades de hasta 100 cm, mientras que rotaciones soja-maíz acumulaban 133 kg/ha más que el monocultivo de soja. Para una profundidad de 0 a 30 cm, sus resultados indican que los sistemas de siembra directa registran 267 kg/ha más que el sistema de siembra convencional.

En la tabla 11 se presenta los resultados de un conjunto de trabajos seleccionados que realizan mediciones del incremento de carbono en el suelo del uso de siembra directa

Tabla 11: Acumulación de carbono en suelo vs. siembra convencional. Resultados de trabajos seleccionados

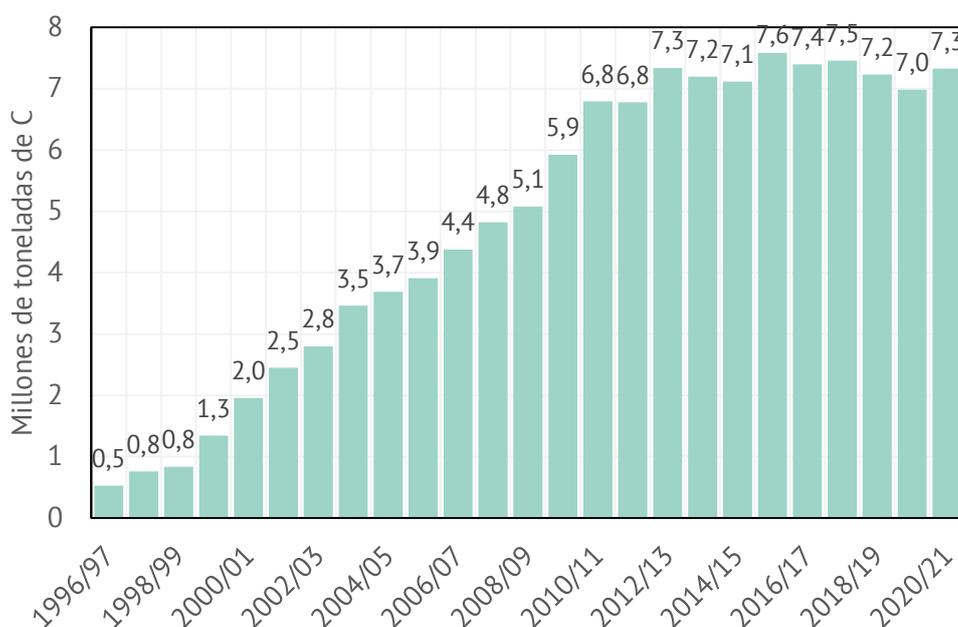
Trabajo	Región	Acumulación de carbono en suelo vs. siembra convencional
Alvarez <i>et al.</i> (2014)	Argentina	0,3 tn/ha año
Franzluebbers (2010);	Estado Unidos	0,45 tn/ha año
Powlson <i>et al.</i> (2011)	Reino Unido y Gales	0,31 tn/ha año
Smith <i>et al.</i> (2001)	Europa	0,73% del stock existente
Smith <i>et al.</i> (2008)	Global	0,04–0,19 tn/ha año
Steinbach y Alvarez (2006)	Argentina	0,276 tn/ha año
VandenBygaart <i>et al.</i> (2008)	Canadá	0,06–0,16 tn/ha año



en lugar de convencional. Las estimaciones varían entre 0,04 y 0,45 tn/ha/año. Los trabajos realizados en la pampa argentina registran valores de acumulación de carbono de 0,3 tn/ha/año.

En base a los resultados de estos trabajos, se asume que el uso de siembra directa, cuya difusión se vio posibilitada por los cultivos GM, tiene un impacto de 0,3 tn/ha por año de acumulación de carbono en el suelo en relación con el sistema de siembra tradicional. Por tanto, considerando la superficie sembrada con siembra directa, el incremento del carbono en el suelo asciende a 7,3 millones de toneladas para la campaña 2020/2021; y en el acumulado de las últimas 25 campañas esto totaliza 121 millones de toneladas (ver Figura 29 y Tabla A6 en Anexo).

Figura 29. Acumulación de carbono orgánico en los suelos por campaña con respecto al escenario sin GM (millones de toneladas)



Fuente: elaboración propia.

VII. El desafío de continuar aprovechando los beneficios de la tecnología

La introducción de los cultivos GM en la agricultura argentina marca un punto de inflexión en la producción agropecuaria y, dada la importancia de ésta en la economía, en el desarrollo del país. En este sentido, los resultados de este estudio enfatizan que lo ocurrido en los 25 años transcurridos desde la introducción del primer cultivo GM es altamente positivo, no sólo para los sectores productivos, sino para la sociedad en su



conjunto, a través de sus impactos sobre el crecimiento del PBI, el empleo, y los ingresos fiscales, y vía estos, el combate a la pobreza y el desarrollo social.

Es importante resaltar que buena parte de lo ocurrido fue posible porque al momento en que estas tecnologías estuvieron disponibles a nivel internacional, existían en la Argentina un conjunto de capacidades estratégicas para poder aprovecharlas: la existencia del marco regulatorio requerido para la incorporación segura de las tecnologías a los procesos productivos, una industria de insumos y servicios consolidada y capaz de reflejar rápidamente las nuevas propuestas a su oferta tecnológica, y capacidades empresariales e institucionales proactivas en cuanto a impulsar la incorporación de las nuevas tecnologías a los procesos productivos. Además de estas capacidades, otros factores vinculados a las políticas económicas y sectoriales, e incluso la sinergia entre los cultivos GM y la siembra directa, que para entonces ya había comenzado a difundirse, fueron determinantes para que el proceso de innovación tuviese la profundidad y significancia que ha tenido en estas dos décadas y media. Todos estos aspectos fueron importantes, pero a estas alturas no cabe duda del carácter estratégico de los OGM en esos procesos (Trigo *et al.*, 2009).

Si bien los beneficios económicos y ambientales han sido el centro de la discusión en este informe, es importante resaltar que las transformaciones impulsadas a partir de la masiva adopción de los cultivos GM, han gatillado otro tipo de beneficios que deben ser tomados en cuenta. Uno de ellos es la consolidación del país como un actor estratégico en los mercados internacionales, precisamente en el momento en el que estos ingresaron en un ciclo fuertemente expansivo.

En este sentido, el hecho de que la Argentina fuese un “adoptante temprano” de las nuevas tecnologías, no solo se reflejó en que el país comenzara a aprovecharlas antes que la competencia sino que también, y más importante, en cómo se pudo aprovechar ese período en términos de posicionamiento en los mercados internacionales, siendo reconocido como líder y referente en la estructuración de las nuevas reglas de juego que se comenzaron a delinear con la aparición de los cultivos GM, por ejemplo, en los aspectos regulatorios (Ver, por ejemplo, Supercampo, 2014).

La importancia de este proceso queda resaltada cuando se considera la magnitud de las transformaciones que se sucedieron en estos 25 años. Una idea de lo que esto significó resulta de la estimación de lo que hubiese ocurrido con el índice de precios de alimentos a nivel global de no haberse dado el incremento en la oferta global de productos básicos que puede ser asociada a la adopción de los cultivos GM en la Argentina. Según una estimación, el índice global de la FAO se podría haber ubicado más de un 15% por encima del que efectivamente se constató. La relevancia de esto queda resaltada cuando



se toman en consideración los problemas políticos y sociales que se tuvieron que enfrentar en muchos países como consecuencia del incremento de los precios de los alimentos que se dio hacia el pico de la crisis en el año 2008. (Trigo, 2016)

Relacionado, pero independiente de esto, y tomando en cuenta la creciente importancia de las cuestiones vinculadas al cambio climático que se deben anticipar en el ámbito del comercio internacional, está el ya referido carácter sinérgico de las semillas GM con la siembra directa y las buenas prácticas agrícolas, en la estrategia de intensificación agrícola sostenible, que permite presentar a la producción nacional como “climáticamente sustentable”, un aspecto que, sin duda, en el futuro crecerá en importancia (Trigo, *et al.*, 2009).

En otro orden de cosas, está el papel de las transformaciones asociadas a la adopción de los cultivos GM como impulsor fundamental de la bioeconomía argentina, como un nuevo modelo de desarrollo para el país, que permita superar el estancamiento de las últimas décadas resultado del agotamiento del modelo de sustitución de importaciones (Ver Bisang y Trigo, 2017 y Trigo *et al.*, 2015).

La bioeconomía –entendida como “la producción y utilización intensiva en conocimientos de los recursos, procesos y principios biológicos para la producción sostenible de bienes y servicios en todos los sectores de la bioeconomía”¹³, se asienta sobre dos impulsores fundamentales: la disponibilidad de biomasa, y la biotecnología como la plataforma científico-tecnológica para su aprovechamiento (cantidades, funcionalidades, productos). En este sentido, el proceso desarrollado en los últimos 25 años con los cultivos GM ha sido fundamental para la consolidación de las capacidades nacionales en ambos aspectos.

En lo que hace a la disponibilidad de biomasa, la ha más que duplicado, lo que ha sido un factor determinante en el desarrollo de la industria de los biocombustibles, una de las plataformas base de la bioeconomía. En efecto, la ampliación de la materia prima disponible impulsó un importante ciclo de inversiones, con significativos impactos en términos de agregación de valor, generación de empleos y desarrollo territorial, que permitió que la Argentina en unos pocos años se transformara en uno de los principales actores en los mercados internacionales de las bioenergías (Torroba, 2020).

Por otra parte, los avances en el uso de los cultivos GM en la producción agrícola, sin duda han tenido impactos positivos en la consolidación de las capacidades en I+D en biotecnología, tanto en el sector público como en el privado, permitiendo que el país ingrese en el exclusivo círculo de los desarrolladores de estas tecnologías. Cabe resaltar

¹³ Global Bioeconomy Summit (2020)



que este proceso en la actualidad no se limita a los cultivos GM, sino que comienza a incluir desarrollos en otros campos (bioproductos, bioinsumos, etc.), en un ciclo que expande y potencia los beneficios que se han discutido en este informe (Anlló, G., *et al.*, 2016).

En retrospectiva, no cabe duda de lo que ha representado la adopción de los cultivos GM para la agricultura argentina y para el país en su conjunto. Los beneficios no han sido sólo en lo económico, sino que deben buscarse más allá en las formas de inserción de la economía argentina en el mundo y en las propias oportunidades que comienzan a ofrecer en cuanto a nuevos senderos de desarrollo para el país.

Por supuesto, no fueron sólo las tecnologías; otros factores vinculados a las políticas económicas y sectoriales, otras innovaciones como la siembra directa y los cambios en las condiciones de los mercados internacionales, tuvieron gran influencia. Sin embargo, no cabe duda de que sin la biotecnología agrícola el proceso hubiera tenido una dinámica muy diferente y la economía del país también hubiese sido diferente.

Todo esto plantea que, a estas alturas, se hace imprescindible enfrentar la discusión tanto de cómo mantener y expandir la vigencia de los activos tecnológicos actualmente en el mercado (sobre los que se fundamentan los logros hasta ahora) y, por otra parte, aprovechar la revisión de las experiencias acumuladas en estos 25 años.

Esto es crucial para asegurar que el país pueda continuar siendo un “adoptante temprano”, en los nuevos ciclos tecnológicos que comienzan a delinearse, y que pueden ser estratégicos en los escenarios internacionales que ya se insinúan, a partir de las discusiones en curso alrededor de la Cumbre Mundial sobre los Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas y la Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático (COP26), a realizarse en 2021¹⁴.

En este sentido hay varias dimensiones a considerar. Un primer aspecto está relacionado con profundizar el aprovechamiento y extender la vida útil de las tecnologías que hoy están en el mercado. La información disponible (ReTAA, Brihet *et al.*, 2019) indica que todavía hay un importante potencial de rendimientos por aprovechar en las actuales propuestas tecnológicas, particularmente en lo referido al maíz.

Según las estimaciones realizadas, existe en la situación actual el potencial de incrementar la producción hasta unos 200 millones de toneladas, si se avanza en cerrar las actuales brechas de productividad respecto de los rendimientos potenciales y se logran mejorar cuestiones referidas al manejo de los cultivos, particularmente en lo que

¹⁴ Ver <https://www.un.org/en/food-systems-summit>; y <https://unfccc.int/es>



hace a la nutrición de los cultivos y en otros aspectos, como los referidos a los sistemas logísticos, de manera de cerrar las brechas de productividad que aún existen, especialmente en las regiones más alejadas de los puertos (Bolsa de Cereales, 2016).

En línea con lo anterior, está la cuestión de hacer frente a la creciente evidencia de la presencia de malezas resistentes al herbicida glifosato, y la pérdida de eficacia en el control de insectos de los cultivos Bt. La presencia de malezas resistentes es un problema estratégico que ya se está reflejando en un mayor número de aplicaciones y formulaciones de mayor concentración, en la necesidad de emplear conjuntamente otros herbicidas, y en la consecuente disminución del atractivo económico de las tecnologías (Bolsa de Cereales, 2016).

Del mismo modo, las tecnologías para el control de insectos (Bt) también están enfrentando desafíos no menores, como resultado de los bajos niveles de cumplimiento de los requerimientos de refugio, bastantes distantes de lo recomendable para asegurar el pleno aprovechamiento del potencial de este tipo de tecnologías.

Todos estos aspectos son estratégicos, ya que estas tecnologías no solo son esenciales para la productividad y rentabilidad de los cultivos, sino también para la competitividad de la Argentina en los mercados mundiales, y el ya mencionado carácter de líder en intensificación agrícola sustentable. La erosión de las tecnologías es un factor que puede afectar esa condición¹⁵ (Ver Box: Cuidado de la tecnología Bt).

Todos estos derroteros resultan de un complejo de razones, entre las cuales se pueden mencionar cuestiones vinculadas a las decisiones de los productores y de los proveedores de las tecnologías, entre otros, y cuyo análisis excede el objetivo de este informe. Sin embargo, hay un tema que debe resaltarse, ya que, por su importancia, es un factor bastante determinante de las tendencias globales. Este se refiere al marco institucional y de políticas dentro del cual los distintos actores toman decisiones en referencia al proceso tecnológico.

Por una parte, están los temas vinculados a la propiedad intelectual, regulaciones de bioseguridad, etc. que afectan directamente la disponibilidad de las tecnologías en el mercado local. Por otra parte, están las políticas económicas y, particularmente, las políticas impositivas y su impacto distorsivo sobre las decisiones de los productores.

¹⁵ De hecho, el estancamiento y/o caída de las áreas bajo siembra directa en algunas de las principales zonas productivas del país (Figura 27), puede ser asociado con esta situación de las tecnologías, particularmente en lo que hace a la tolerancia a herbicidas.



Box: Cuidado de la tecnología Bt

Las técnicas de la biotecnología moderna aplicadas al mejoramiento genético han permitido obtener cultivos tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos, entre otras características de interés agronómico. Estos cultivos representan una herramienta de producción muy importante debido a que, además de facilitar el manejo técnico, ha permitido su expansión y desarrollo hacia regiones no tradicionales para los mismos. En el caso de maíz, por ejemplo, permitieron la siembra en regiones como NOA y NEA y, por la flexibilización en la fecha de siembra, también favorecieron las siembras tardías (noviembre a enero) con respecto a la fecha tradicional (septiembre-octubre). El uso adecuado de la tecnología asegurará la sustentabilidad del sistema y la durabilidad de la misma en el tiempo.

A los cultivos genéticamente modificados resistentes a insectos también se los denomina cultivos Bt debido a que son portadores de genes de *Bacillus thuringiensis*, una bacteria del suelo que produce proteínas con efecto insecticida para controlar lepidópteros plaga. En nuestro país existen tres cultivos Bt comerciales: maíz, soja y algodón.

El uso eficiente de esta tecnología implica un manejo adecuado y sustentable que garantice su cuidado, ya que la resistencia de insectos a las proteínas Bt u otro insecticida es un fenómeno natural que no puede evitarse, solo retrasarse con técnicas de manejo. Uno de los aspectos más importantes del manejo de la tecnología Bt es la realización de refugio. Esta práctica es parte de los programas de Manejo de Resistencia de Insectos, cuyo fin es “retrasar la evolución de resistencia de insectos a las tecnologías Bt o a otro tipo de insecticidas. Se basan fundamentalmente en un buen manejo del lote que incluye rotación de cultivos, buen control de malezas y tratamiento de rastrojo, buena implantación del cultivo, monitoreo periódico de plagas y la siembra de refugio.”

“El refugio es una porción del lote sembrada con una variedad/híbrido no Bt de similar ciclo de madurez que la del cultivo Bt y en la misma fecha de siembra. Esta área es una reserva de insectos susceptibles. Sirve para disminuir la probabilidad de que insectos resistentes, nacidos en la porción Bt del lote, solo se apareen entre sí y generen una descendencia resistente. Por el contrario, al aparearse un insecto resistente con uno susceptible, proveniente del refugio; la descendencia será susceptible y controlada por la tecnología. Por lo tanto, para todas las tecnologías Bt, la siembra de refugio es fundamental ya que genera un número adecuado de insectos susceptibles que se cruzan con los resistentes, manteniendo baja la frecuencia de los

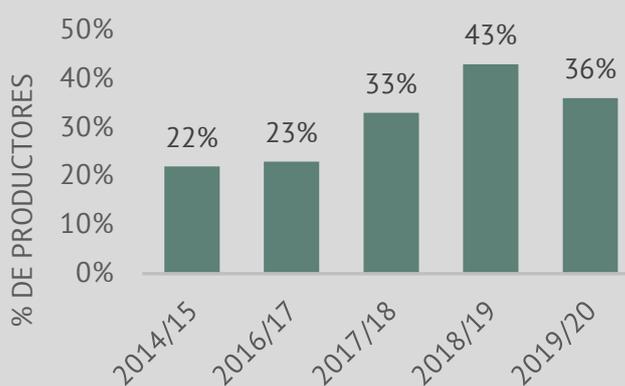


resistentes en el lote.” (Preguntas y respuestas sobre cultivos Bt y manejo de resistencia de insectos. Programa MRI-ASA. 2º edición, octubre de 2017). El refugio tiene características particulares en cuanto a dimensión, ubicación y manejo, según el cultivo en cuestión.

La siembra de refugio, entonces, constituye una especie de seguro a largo plazo. En corto/mediano plazo no está prevista la comercialización de nuevas proteínas Bt, con lo cual es importante manejar adecuadamente las actuales a fin de asegurar la sustentabilidad de las mismas en el tiempo.

En Argentina la adopción de refugio en maíz ha crecido sostenidamente en los últimos años. El porcentaje de productores que realiza refugio pasó del 22% en la campaña 2014/15 al 43% en la campaña 2018/19. En la campaña 2019/20 bajó al 36%.

Adopción de refugio en maíz en Argentina



Fuente: ReTAA, Bolsa de Cereales.

Aún queda trabajo por realizar para mejorar este indicador y, si bien la resistencia comienza en el lote, es importante destacar que el cuidado de la tecnología Bt es una responsabilidad de toda la cadena agroindustrial.

En cuanto a los temas regulatorios, la inseguridad respecto de la posibilidad efectiva de proteger las tecnologías por parte de los proveedores de las mismas ha sido, y continúa siendo, un factor que restringe las condiciones de acceso a un espectro más amplio de tecnologías para enfrentar, por ejemplo, el creciente problema de las malezas resistentes. La importancia del impacto de situaciones de incertidumbre en estos aspectos ya se ha manifestado en el caso de la soja, donde la poca claridad en cuanto a los temas de protección de la propiedad intelectual ha sido determinante en el que los productores argentinos tengan a su disposición menos opciones para enfrentar el problema que sus competidores de otros países.

En lo que hace a la política económica, la predominancia de las retenciones como el principal instrumento recaudatorio, tiene un fuerte impacto sobre los precios relativos sobre los que se toman las decisiones en cuanto a las estrategias productivas y, consecuentemente, en lo que se refiere a la selección de las tecnologías y el manejo que



se hace de las mismas, tanto en lo referido a la reposición de nutrientes, al uso de la creciente disponibilidad de variedades y modos de acción para el tema malezas, como a la decisión del cumplimiento o no de los requerimientos de refugios. Un somero análisis de las variables involucradas resaltaría que en el potencial económico de estas tecnologías hay suficiente espacio como para avanzar en planteos alternativos no tan distorsivos, aunque igualmente beneficiosos en cuanto a los impactos agregados sobre la economía (Bolsa de Cereales, 2021).

A futuro, las transformaciones en el sentido mencionado tendrían también otros beneficios, más allá de los mencionados, ya que además de los efectos que hoy se pueden observar se puede anticipar que el cambio climático, inevitablemente, tenderá a agravar los problemas que se presentan hasta ahora. En este sentido, se espera un incremento de temperatura en las principales áreas productoras lo que resultará en nuevas malezas y plagas, así como cambios más rápidos en las ya existentes, las que a su vez requerirán estrategias tecnológicas más complejas (IICA, 2015).

En el caso de los cultivos Bt resalta aún más el cuidado de las tecnologías existentes a través del correcto manejo de la resistencia de los insectos y, en el caso del control de malezas, será inevitable recurrir a una canasta más diversa de tecnologías que permita la rotación de principios activos y modos de acción, cosa que recomienda tanto la siembra directa como las buenas prácticas agrícolas.

En este contexto, varias de las tecnologías actualmente ya disponibles adquieren un valor estratégico que trasciende el beneficio económico, ya que son clave para garantizar la sustentabilidad de la producción agrícola en la Argentina. Avanzar en esta dirección es una tarea prioritaria, ya que se trata de tecnologías maduras, bien instaladas en las estrategias productivas hoy predominantes y para las cuales no existen problemas regulatorios por resolver, ni en cuanto al acceso a los mercados internacionales, por lo que los beneficios no están sujetos a otros condicionantes que no sean los riesgos naturales de la producción agropecuaria.

Más allá de estos aspectos, está el tema de la renovación de las tecnologías existentes y el posicionamiento de la Argentina en el nuevo ciclo tecnológico implícito con la irrupción de las nuevas metodologías, como la edición génica. Los diversos beneficios presentados y discutidos en este informe hacen ocioso discutir si ser parte de ese nuevo ciclo sería beneficioso. En efecto, la conclusión de antemano es que se deben hacer todos los esfuerzos por estar presentes en dicho ciclo con las mismas características de “adoptantes tempranos” que se ha tenido en el actual.

En cuanto a las nuevas tecnologías del ciclo GM, los desafíos continúan siendo, básicamente, los mismos que hasta ahora. Por una parte, los ya mencionados temas



vinculados a la propiedad intelectual, donde la Argentina continúa teniendo las mismas deudas que ha tenido hasta ahora, particularmente en lo que hace a mecanismos que aseguren el cumplimiento efectivo de los mecanismos existentes.

En este sentido, la forma en que se accedió a las primeras variedades GM de soja tolerante a herbicidas, hace 25 años, instaló un conjunto de comportamientos respecto del mercado de semillas, que pueden haber sido efectivos para la rapidez de las etapas iniciales del proceso, pero que difícilmente sea viable para lo que viene (Trigo *et al.*, 2002). De hecho, podría argumentarse que ha sido un problema para que se accediera más rápidamente a algunas de las tecnologías que han llegado a los mercados en los últimos tiempos. Se han desarrollado mecanismos *ad-hoc*, que parecerían efectivos para dinamizar el mercado en algunos casos, pero es argumentable si podrían cumplir su función en algunos de los escenarios futuros que se pueden anticipar.

Por otra parte, está la necesidad de integrar los aspectos de la política internacional con las políticas en cuanto a negociaciones comerciales internacionales. Aquí también, en las etapas iniciales del ciclo, esto era un problema de baja intensidad, ya que las tecnologías ya estaban aprobadas para importación y consumo cuando fueron introducidas en la Argentina. Pero eso fue cambiando, y hoy en la práctica las aprobaciones casi se han transformado en una medida para-arancelaria, en un escenario que difícilmente cambie en el futuro inmediato. Es por eso que una clara y efectiva integración de las políticas de desarrollo tecnológico con la diplomacia comercial, pasa a ser un elemento central en la definición de hacia dónde ir. Las experiencias de lo que ha ocurrido en épocas recientes con la soja y el trigo HB4 son un claro ejemplo de la importancia de estas interfaces, o la inexistencia de ellas.

Finalmente, están las oportunidades que ofrecen las nuevas tecnologías como la edición génica. En relación a estas, es importante resaltar que nuevamente la Argentina presenta elementos a favor que deberían considerarse. Uno de ellos, que ya fuera estratégico anteriormente, es que el país ha sido líder en establecer un marco regulatorio de bioseguridad proactivo para la gestión de las mismas; más aún a nivel internacional ha sido uno de los primeros en establecer un marco al respecto, el cual está siendo usado como referencia internacional.¹⁶

Esto sin duda es estratégico, por el hecho de que parecería que estas tecnologías, como resultado de su menor costo de desarrollo, pueden ser utilizadas tanto en un más amplio espectro de cultivos como en situaciones donde las empresas nacionales pueden tener mayor participación. Sin embargo, aún hay muy pocas experiencias concretas de

¹⁶ Ver https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/prensa/index.php?accion=noticia&id_info=190409131059



productos en los mercados y ya se han evidenciado conflictos en las cuestiones regulatorias similares a los ocurridos en el pasado, especialmente con la UE. Por lo que el tema mencionado respecto de la diplomacia comercial es uno de plena vigencia.



Referencias

- Alvarez, C., Alvarez, C. R., Costantini, A., & Basanta, M. (2014). Carbon and nitrogen sequestration in soils under different management in the semi-arid Pampa (Argentina). *Soil and Tillage Research*, 142, 25-31.
- Anlló, G., et al. (2016), Biotecnología argentina al año 2030: llave estratégica para un modelo de desarrollo tecno-productivo, Ministerios de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva (MINCYT), disponible en: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/est_bio_biotecnologia-argentina-al-2030-sintesis.pdf
- ArgenBio (2020). Evaluación y aprobación de cultivos transgénicos en Argentina. Disponible en: <http://www.argenbio.org/cultivos-transgenicos/12547-evaluacion-y-aprobacion-de-cultivos-transgenicos-en-argentina>
- Bisang, R., Anlló, G., & Campi, M. (2008). Una revolución (no tan) silenciosa. Claves para repensar el agro en Argentina. *Desarrollo económico*, 165-207.
- Bisang, R. Brigo, R, Lódola, A. y Morra, F. (2018) Cadenas de valor agroalimentarias: Evolución y cambios estructurales en el Siglo XXI, Secretaría de Agroindustria. Disponible en: https://www.magyp.gob.ar/sitio/areas/ss_alimentos_y_bebidas/_pdf/CadenasAgroalimentarias-v29-01-19.pdf
- Bisang, R. y Trigo, E. (2017). Bioeconomía Argentina: Modelos de negocios para una nueva matriz productiva. Ministerio de Agroindustria de la Nación y Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Buenos Aires, 2017. Disponible en <http://www.grupobioeconomia.org.ar/grupo-bioeconomia-presenta-el-documento-modelos-de-negocios-para-una-nueva-matriz-productiva/>
- Brescia y Lema (2001), "Dinámica de la oferta agropecuaria argentina: elasticidades de los principales cultivos pampeanos", I Reunión Rioplatense de Economía Agraria, Montevideo.
- Brickell, C. D., Baum, B. R., Hetterscheid, W. L., Leslie, A. C., McNeill, J., Trehane, P., ... & Wiersema, J. H. (2002). International code of nomenclature for cultivated plants: Glossary (pp. 85-123).
- Brihet, J.M., Gayo, S. & Gago, A (2018). Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada: 2017/2018. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.bolsadecereales.com>. Fecha de acceso: 10 octubre 2020.
- Brihet, J.M., Gayo, S. & Borelli, M (2019). Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada: 2018/2019. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.bolsadecereales.com>. Fecha de acceso: 10 octubre 2020.
- Brihet, J.M., Gayo, S. & Regeiro, D. (2020). Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada: 2019/2020. Bolsa de Cereales de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina. Disponible en: <http://www.bolsadecereales.com>. Fecha de acceso: 10 octubre 2020.
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2005). GM crops: The global economic and environmental impact – The first nine years 1996-2004.
- Brookes, G., & Barfoot, P. (2020). GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996–2018.



Bolsa de Cereales (2016), Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada, ReTAA, Buenos Aires, Argentina, 2016

Bolsa de Cereales (2021), Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada, ReTAA: Prácticas ambientales en la producción agrícola argentina, Buenos Aires, Febrero, 2021

Chudnovsky, D. (2007). Argentina: Adopting RR soy, economic liberalization, global markets and socio-economic consequences. The gene revolution GM crops and unequal development, 85-103.

De Bianconi, M. G. E. (2003). Two Years of Insect Protected Bt Transgenic Cotton in Argentina: Regional Field Level Analysis of Financial Returns and Insecticide Use. *Journal of New Seeds*, 5(2-3), 223-235.

Elena, M. G.; Ybran R.G.; Lacelli G., A.; 2008; "Evaluación económica de alternativas de sistemas de siembra y cosecha de algodón en localidades de Santa Fe y Chaco"; Área de Investigación en Ecología y Manejo EEA. INTA Sáenz Peña, Chaco. Arg.

EPA (2011). Environmental protection agency. Greenhouse gas emissions from a typical passenger vehicle. Disponible en <https://www.epa.gov/greenvehicles/greenhouse-gas-emissions-typical-passenger-vehicle>

Eshenaur, B., Grant, J., Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., and Tette, J. (2020) www.nysipm.cornell.edu/publications/EIQ. Environmental Impact Quotient: "A Method to Measure the Environmental Impact of Pesticides." New York State Integrated Pest Management Program, Cornell Cooperative Extension, Cornell University. 1992 – 2020.

Estimaciones Agrícolas. Dirección Nacional de Agricultura - Dirección de Estimaciones Agrícolas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Octubre 2020. <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>

Fernandez-Cornejo, J., Wechsler, S., Livingston, M., & Mitchell, L. (2014). Genetically engineered crops in the United States. USDA-ERS Economic Research Report, (162).

Finger, R., El Benni, N., Kaphengst, T., Evans, C., Herbert, S., Lehmann, B., ... & Stupak, N. (2011). A meta-analysis on farm-level costs and benefits of GM crops. *Sustainability*, 3(5), 743-762.

Finger, R., Hartmann, M., & Feitknecht, M. (2009). Adoption patterns of herbicide-tolerant soybeans in Argentina. *AgBioForum*, 12(3-4), 404-411.

Franzluebbers, A. J. (2010). Achieving soil organic carbon sequestration with conservation agricultural systems in the southeastern United States. *Soil Science Society of America Journal*, 74(2), 347-357.

GAO, "Information on Prices of Genetically Modified Seeds in the United States and Argentina," U.S. General Accounting Office, Washington, DC (2000).

Global Bioeconomy Summit (2020), Expanding the Sustainable Bioeconomy – Vision and Way Forward. Communiqué of the Global Bioeconomy Summit 2020, Berlin 2020

IICA, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2015), Cambio climático y agricultura en la Argentina: aspectos institucionales y herramientas de información para la formulación de políticas, Buenos Aires



INAI (2018). ERAMA: escenario de referencia agroindustrial mundial y argentino a 2027/2028. Disponible en: http://inai.org.ar/erama_2027-2028/

INTA (2011). Nota técnica N° 58. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca - Presidencia de la Nación. Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-siembra_directa_2011.pdf

ISAAA (2018). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2018: Biotech Crops Continue to Help Meet the Challenges of Increased Population and Climate Change. ISAAA Brief No. 54. ISAAA: Ithaca, NY.

ISAAA (2019). Biotech Crops Drive Socio-Economic Development and Sustainable Environment in the New Frontier. ISAAA Brief No. 55. ISAAA: Ithaca, NY.

Kathage, J., & Qaim, M. (2012). Economic impacts and impact dynamics of Bt (*Bacillus thuringiensis*) cotton in India. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(29), 11652-11656.

Klümper, W., & Qaim, M. (2014). A meta-analysis of the impacts of genetically modified crops. *PloS one*, 9 (11), e111629.

Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J., & Tette, J. (1992). A method to measure the environmental impact of pesticides.

Listado de cultivares - Registro Nacional de Cultivares, INASE. Disponible en <https://gestion.inase.gob.ar/consultaGestion/gestiones>. Accedido en Julio de 2020.

Naranjo, S. E. (2009). Impacts of Bt crops on non-target invertebrates and insecticide use patterns.

Nicolia, A., Manzo, A., Veronesi, F. and Rosellini, D., 2014. An overview of the last 10 years of genetically engineered crop safety research. *Critical reviews in biotechnology*, 34(1), pp.77-88.

Paredes, C., & Martin, M. A. (2007). Adoption of transgenic crops by smallholder farmers in Entre Rios, Argentina (No. 381-2016-22190).

Penna, J. A., & Lema, D. (2002). Adoption of herbicide resistant soybeans in Argentina: An Economic Analysis. Buenos Aires, Instituto de Sociología Rural/Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA).

Powlson, D. S., Bhogal, A., Chambers, B. J., Coleman, K., Macdonald, A. J., Goulding, K. W. T., & Whitmore, A. P. (2012). The potential to increase soil carbon stocks through reduced tillage or organic material additions in England and Wales: a case study. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 146(1), 23-33.

Qaim, M., & De Janvry, A. (2005). Bt cotton and pesticide use in Argentina: economic and environmental effects. *Environment and Development Economics*, 179-20.

Qaim, M., & Traxler, G. (2005). Roundup Ready soybeans in Argentina: farm level and aggregate welfare effects. *Agricultural economics*, 32(1), 73-86.

Quirolo, M.E.; (2015); Costo de Producción de Algodón: área de Sáenz Peña, Chaco; inédito.

Revista Agromercado; (1997); Costo de producción de algodón para Santiago del Estero (secano); Año 11, nº129; Editorial Agromercado.



Sankala, S., & Blumenthal (2003), E. Impacts on US agriculture of biotechnology-derived crops planted in 2003-an update of eleven case studies. NCFAP, Washington.

Smith, P., Goulding, K. W., Smith, K. A., Powlson, D. S., Smith, J. U., Falloon, P., & Coleman, K. (2001). Enhancing the carbon sink in European agricultural soils: including trace gas fluxes in estimates of carbon mitigation potential. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 60(1-3), 237-252.

Smith P, Martino D, Cai Z, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B. (2008) .Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical transactions of the royal Society B: Biological Sciences*. 363(1492):789-813.

Steinbach, H. S., & Alvarez, R. (2006). Changes in soil organic carbon contents and nitrous oxide emissions after introduction of no-till in Pampean agroecosystems. *Journal of Environmental Quality*, 35(1), 3-13.

Supercampo (2014), Reconocen a la Argentina como centro de referencia mundial en biotecnología, 4/11/14, url: <https://supercampo.perfil.com/2014/11/reconocen-a-la-argentina-como-centro-de-referencia-mundial-en-biotecnologia>, accedido el 10/05/2021

Torroba, Agustín, Atlas de los biocombustibles líquidos 2019-2020, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), San José, Costa Rica, 2020.

Trigo, E. J., Chudnovsky, D., Cap, E. and Lopez, 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 "Millions Fed: Proven successes in agricultural development", David J. Spielman and Rajul Pandya-Lorch (eds.), IFPRI Books (ISBN 978-0-89629-661-9), Washington DC

Trigo, E. J. (2011). Economic impact after 15 years of GM Crops in Argentina.

Trigo, E. J. (2016). Veinte años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina, ArgenBio, Buenos Aires, Argentina. Disponible en: www.argenbio.org

Trigo, E. J., Regunaga, M., Costa R., Wierny M. y Coremberg A. (2015) "La bioeconomía argentina: alcances, situación actual y oportunidades para el desarrollo sustentable." Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina.

Valeiro, Alejandro. (2018). Diecisiete años de algodón transgénico en Argentina: evolución del uso de agroquímicos.

VandenBygaart, A. J., McConkey, B. G., Angers, D. A., Smith, W., De Gooijer, H., Bentham, M., & Martin, T. (2008). Soil carbon change factors for the Canadian agriculture national greenhouse gas inventory. *Canadian Journal of Soil Science*, 88(5), 671-680.

Vaquero P. y Fried A. (2019). Consecuencias de no innovar en semillas en el cultivo de algodón en Argentina. Asociación de Semilleros Argentinos (ASA). Recuperado de la página de Internet del organismo. Disponible en: <http://www.asa.org.ar/wp-content/uploads/2019/11/PROPIEDAD-INTELLECTUAL-EN-EL-CULTIVO-DE-ALGODO%C4%9BN-EN-ARGENTINA-Final.pdf>



West, T. O., & Marland, G. (2002). A synthesis of carbon sequestration, carbon emissions, and net carbon flux in agriculture: comparing tillage practices in the United States. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 91(1-3), 217-232.

Ybran, R. (2013). Voces y Ecos N° 30- Suplemento informativo económico; INTA Reconquista.

Ybran R. y Lacelli, G. (2008). Costo de producción del algodón en Reconquista, Argentina: Surcos estrechos y cosecha mecánica Javiyu. Campaña 2008-2009.



Anexo I: Tablas

Tabla A1: Eventos GM autorizados para siembra, consumo y comercialización en Argentina

	Especie	Característica introducida	Evento	Solicitante	Año
1	Soja	Tolerancia a glifosato	40-3-2	Nidera	1996
2	Maíz	Resistencia a Lepidópteros	176	Ciba-Geigy	1998
3	Maíz	Tolerancia a Glufosinato de Amonio	T25	AgrEvo	1998
4	Algodón	Resistencia a Lepidópteros	MON531	Monsanto	1998
5	Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MON810	Monsanto	1998
6	Algodón	Tolerancia a glifosato	MON1445	Monsanto	2001
7	Maíz	Resistencia a Lepidópteros	Bt11	Novartis	2001
8	Maíz	Tolerancia a glifosato	NK603	Monsanto	2004
9	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato de Amonio	TC1507	Dow AgroSciences y Pioneer Argentina	2005
10	Maíz	Tolerancia a Glifosato	GA21	Syngenta	2005
11	Maíz	Tolerancia a glifosato y resistencia a Lepidópteros	NK603xMON810	Monsanto	2007
12	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato de Amonio	1507xNK603	Dow AgroSciences y Pioneer Argentina	2008
13	Algodón	Resistencia a Lepidópteros y Tolerancia a glifosato	MON531xMON1445	Monsanto	2009
14	Maíz	Tolerancia a glifosato y Resistencia a Lepidópteros	Bt11xGA21	Syngenta	2009
15	Maíz	Tolerancia a glifosato y Resistencia a Coleópteros	MON88017	Monsanto	2010
16	Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MON89034	Monsanto	2010
17	Maíz	Tolerancia a glifosato y resistencia a Lepidópteros y Coleópteros	MON89034 x MON88017	Monsanto	2010
18	Maíz	Resistencia a Lepidópteros	MIR162	Syngenta	2011
19	Soja	Tolerancia a glufosinato de amonio	A2704-12	Bayer	2011
20	Soja	Tolerancia a glufosinato de amonio	A5547-127	Bayer	2011
21	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glifosato	Bt11xGA21xMIR162	Syngenta	2011
22	Maíz	Tolerancia a glifosato y a herbicidas que inhiben	DP-098140-6	Pioneer	2011
23	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y a Coleópteros y tolerancia herbicidas	Bt11xMIR162xMIR604x GA21	Syngenta	2012
24	Maíz	Resistencia a Coleópteros	MIR604	Syngenta	2012
25	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glufosinato	MON89034xTC1507xNK603	Dow AgroSciences y Monsanto	2012
26	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a Glifosato	MON89034xNK603	Monsanto	2012
27	Soja	Resistencia a Lepidópteros y Tolerancia a glifosato	MON87701xMON89788	Monsanto	2012



28	Soja	Tolerancia a herbicidas de la clase de las imidazolinonas	CV127	Basf Agricultural Solutions	2013
29	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato	TC1507xMON810xNK603	Pioneer	2013
30	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glifosato	Bt11xMIR162xTC1507xGA21	Syngenta	2014
31	Soja	Tolerancia a 2,4 D, glufosinato de amonio y glifosato	DAS-44406-6	Dow AgroSciences	2015
32	Soja	Alto contenido de ácido oleico y tolerancia a glifosato	DP-305423-1 x MON-04032-6	Pioneer	2015
33	Algodón	Tolerancia a glifosato y a glufosinato de amonio	BCS-GHØØ2-5 x ACS-GHØØ1-3	Bayer	2015
34	Soja	Resistencia a sequía y tolerancia a glufosinato	IND-00410-5	INDEAR	2015
35	Papa	Resistencia a virosis	TIC-AR233-5	Tecnoplant	2015
36	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato	TC1507xMON810xMIR162xNK603 y todos los acumulados intermedios	Pioneer	2016
37	Soja	Tolerancia a glifosato	MON-89788-1	Monsanto	2016
38	Soja	Resistencia a Lepidópteros	MON-87701-2	Monsanto	2016
39	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato	MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-00603-6 x SYN-IR162-5 y todos los acumulados intermedios	Dow AgroSciences	2016
40	Soja	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato	DAS-81419-2 x DAS-44406-6	Dow AgroSciences	2016
41	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato	SYN-BT011-1 x SYN-IR162-4 x MON-89034-3 x MON-00021-9 y todos los acumulados intermedios	Syngenta	2016
42	Soja	Con tolerancia a los herbicidas a base de glufosinato de amonio e inhibidores de la enzima p-hidroxifenilpiruvato dioxigenasa (HPPD)	SYN-000H2-5	Syngenta y Bayer	2017
43	Cártamo	Con expresión de pro-quimosina bovina en semilla	IND-10003-4, IND-10015-7, IND-10003-4 x IND-10015-7 y todos los acumulados intermedios	INDEAR	2017
44	Maíz	Tolerancia a herbicidas a base de 2,4 D y herbicidas de la familia de los ariloxifenoxi, a glufosinato de amonio y a glifosato, Resistencia a Lepidópteros	DAS-40278-9 MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-00603-6 x DAS-40278-9	Dow AgroSciences	2018
45	Soja	Tolerancia al herbicidas isoxaflutole, glifosato y glufosinato de amonio	MST-FG072-2 y MST-FG072-2xACS-GM006-4	Bayer	2018
46	Maíz	Tolerancia a glifosato y a glufosinato de amonio y con Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros	SYN-05307-1 y SYN-BT011-1xSYN-IR162-4xSYN-IR604-5xDAS-01507-1xSYN-05307-1xMON-00021-9 y todos los acumulados	Syngenta	2018



			intermedios		
47	Maíz	Tolerancia a glifosato y con Resistencia a Lepidópteros y a Coleópteros	MON-87427-7, MON-87411-9, MON-87427-7 x MON-89034-3 x SYN-IR162-4 x MON-87411-9 y todos los acumulados intermedios	Monsanto	2018
48	Alfalfa	Tolerancia a glifosato y disminución en el contenido de lignina,	MON-00179-5, MON-00101-8 y MON-00179-5 x MON-00101-8	INDEAR	2018
49	Soja	Solo para procesamiento,	MON-87708-9 x MON-89788-1	Monsanto	2018
50	Papa	Resistencia a virosis	TIC-AR233-5	Tecnoplant	2018
51	Maíz	Tolerancia a glifosato, resistencia a insectos Lepidópteros y Coleópteros	MON-87427-7 x MON-89034-3 x MON-88017-3	Monsanto	2018
52	Soja	Tolerancia a glifosato y glufosinato, resistencia a sequía	IND-00410-5 x MON-04032-6 (OCDE)	INDEAR	2018
53	Algodón	Tolerancia a glifosato y herbicidas inhibidores de la HPPD	BCS-GH811-4	Basf Agricultural Solutions	2019
54	Soja	Tolerancia a glifosato y glufosinato	DBN-09004-6	INDEAR	2019
55	Maíz	Tolerancia a herbicidas formulados en base a productos de la familia de ariloxifenoxi y al 2,4-D, glufosinato de amonio y glifosato, y resistencia a Lepidópteros,	MON-89034-3 x DAS-01507 x MON-00603-6 x SYN-IR162-4 x DAS-40278-9	Dow AgroSciences	2019
56	Algodón	Tolerancia a glufosinato de amonio, a glifosato y Resistencia a Lepidópteros,	SYN-IR102-7 y BCS-GH002-5 x BCS-GH004-7 x BCS-GH005-8 x SYN-IR102-7, los acumulados intermedios y los eventos BCS-GH004-7 y BCS-GH005-8	Basf Agricultural Solutions	2019
57	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato,	MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-88017-3 x DAS-59122-7	Monsanto , Dow AgroSciences y Pioneer	2019
58	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato,	MON-87427-7 x MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-88017-3 x DAS-59122-7	Monsanto	2019
59	Maíz	Resistencia a Lepidópteros y Coleópteros, y tolerancia a glufosinato de amonio y a glifosato,	MON-87427-7 x MON-89034-3 x MON-00603-6	Monsanto	2019
60	Maíz	Con Protección contra Lepidópteros y tolerancia a glifosato	MON-87427-7 x MON-89034-3 x SYN-IR162-4 x MON-00603-6	Monsanto	2019
61	Algodón	Protección contra insectos Lepidópteros	SYN-IR102-7	Syngenta	2019
62	Trigo	Con tolerancia a sequía y tolerancia a glufosinato de amonio	IND- 00412-7	INDEAR S.A.	2020

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca,



Tabla A2: Superficie sembrada con cultivos GM (hectáreas)

Año	Maíz GM		Soja GM		Algodón GM	
	Millones de hectáreas	Porcentaje de sup. de maíz	Millones de hectáreas	Porcentaje de sup. de soja	Millones de hectáreas	Porcentaje de sup. de algodón
1996/97	0	0,0%	368.866	5,5%	0	0%
1997/98	0	0,0%	1.751.525	24,4%	0	0%
1998/99	32.701	1,0%	4.800.000	57,1%	271	0%
1999/00	365.190	10,0%	6.640.378	75,5%	745	0%
2000/01	698.905	20,0%	9.225.701	84,4%	2.033	0%
2001/02	918.498	30,0%	10.923.742	93,9%	5.449	3%
2002/03	1.224.150	40,0%	12.228.640	97,0%	31.642	20%
2003/04	1.481.200	50,0%	14.342.141	98,7%	71.163	27%
2004/05	2.042.302	60,0%	14.254.076	99%	162.568	40%
2005/06	2.169.499	68,0%	15.272.898	99%	185.456	60%
2006/07	2.576.329	72,0%	16.141.338	100%	322.910	80%
2007/08	3.093.980	73%	16.608.935	100%	276.533	90%
2008/09	2.871.089	82%	18.042.895	100%	279.454	94%
2009/10	3.010.433	82%	18.860.732	100%	482.909	99%
2010/11	3.876.936	85%	18.884.309	100%	640.765	100%
2011/12	4.600.304	92%	18.670.937	100%	622.146	100%
2012/13	5.826.709	95%	20.035.572	100%	410.650	100%
2013/14	5.854.930	96%	19.704.642	100%	552.246	100%
2014/15	5.913.790	98%	19.792.100	100%	523.680	100%
2015/16	6.835.493	99%	20.479.090	100%	406.130	100%
2016/17	8.401.827	99%	18.057.162	100%	253.310	100%
2017/18	9.048.368	99%	17.259.260	100%	327.465	100%
2018/19	8.949.198	99%	17.010.277	100%	441.103	100%
2019/20	9.500.000	99%	16.900.000	100%	450.000	100%

Fuente: cálculos propios en base a Trigo (2016), Dirección Nacional de Agricultura - Dirección de Estimaciones Agrícolas - Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (2019) y Relevamiento de Tecnología Agrícola Aplicada (2020),



Figura A1: Evolución por provincia del área sembrada real y del área sembrada en un escenario sin introducción de tecnología GM, Años 1995-2020 (miles de hectáreas)

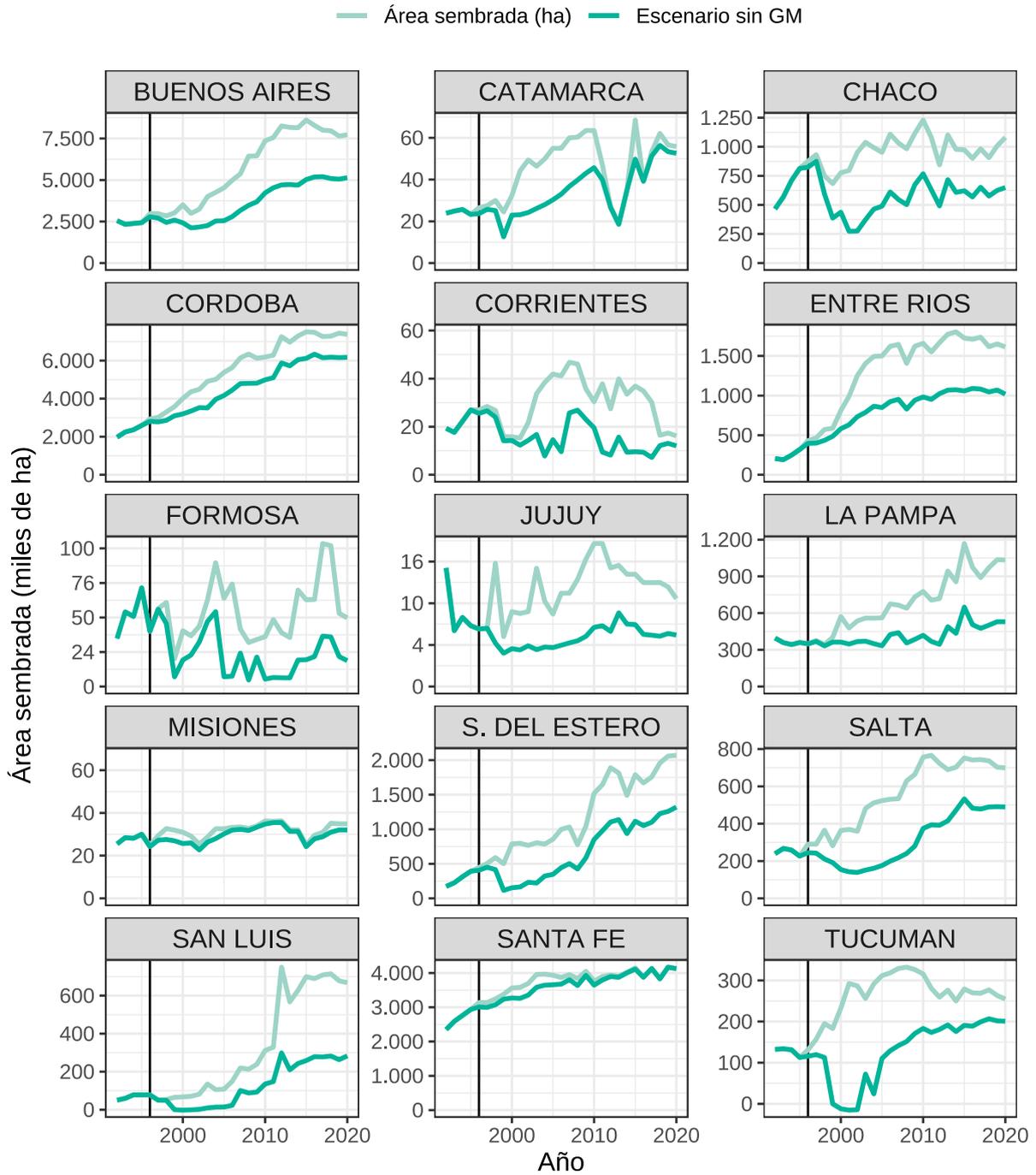




Tabla A3: Beneficios brutos de adopción de cultivos GM (millones de dólares)

	Maíz	Soja	Algodón	Total
1996/97		330	0	330
1997/98		607	0	607
1998/99	26	860	1	887
1999/00	170	1.102	1	1.273
2000/01	170	2.003	1	2.174
2001/02	189	2.498	2	2.689
2002/03	166	3.511	7	3.684
2003/04	186	3.946	18	4.151
2004/05	191	3.724	37	3.952
2005/06	145	4.005	42	4.192
2006/07	310	6.230	74	6.614
2007/08	336	8.293	65	8.693
2008/09	98	5.450	64	5.611
2009/10	245	9.010	96	9.351
2010/11	517	9.862	222	10.601
2011/12	418	8.714	225	9.357
2012/13	624	10.780	128	11.532
2013/14	453	10.450	224	11.126
2014/15	373	8.995	165	9.533
2015/16	592	8.808	139	9.539
2016/17	811	7.689	121	8.621
2017/18	884	5.585	179	6.648
2018/19	1.017	7.348	173	8.537
2019/20	1.101	7.275	117	8.493
2020/21	1.839	8.933	30	10.803
Acumulado	10.860	146.007	2.129	158.997



Tabla A4: Soja: evolución de beneficios brutos de adopción de cultivos GM

Campaña	FOB	Adopción GM	Superficie real	Superficie escenario sin GM	Diferencia área	Beneficio bruto área	Cambio costos	Beneficio bruto costos	Rinde medio	Rinde sin GM	Rinde con GM	Beneficio bruto rinde	Beneficio bruto total
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (4) - (3)	(6) = (10) * (5) * (1)	(7)	(8) = (7) * (3) * (2)	(9)	(10)	(11)	(12)	(12) + (8) + (6)
	U\$S / tn	%	Mha	Mha	Mha	M U\$S	U\$S/ha	M U\$S	tn/ha	tn/ha	tn/ha	M U\$S	M U\$S
1996/97	301	6%	6,7	6,0	0,6	321	26	10	1,7	1,7	1,7	0	330
1997/98	231	24%	7,2	6,2	0,9	560	27	48	2,6	2,6	2,6	0	607
1998/99	174	57%	8,4	6,7	1,7	703	33	157	2,4	2,4	2,4	0	860
1999/00	187	76%	8,8	6,7	2,1	906	29	196	2,3	2,3	2,3	0	1.102
2000/01	177	84%	10,9	7,2	3,8	1.666	36	336	2,5	2,5	2,5	0	2.003
2001/02	196	94%	11,6	7,5	4,2	2.105	36	393	2,6	2,6	2,6	0	2.498
2002/03	238	97%	12,6	7,9	4,7	3.077	35	434	2,8	2,8	2,8	0	3.511
2003/04	267	99%	14,5	8,5	6,0	3.491	32	455	2,2	2,2	2,2	0	3.946
2004/05	230	99%	14,4	8,9	5,5	3.355	26	370	2,7	2,7	2,7	0	3.724
2005/06	234	99%	15,4	9,5	5,9	3.613	26	393	2,6	2,6	2,6	0	4.005
2006/07	317	100%	16,1	10,1	6,1	5.681	34	549	2,9	2,9	2,9	0	6.230
2007/08	456	100%	16,6	10,5	6,1	7.747	33	546	2,8	2,8	2,8	0	8.293
2008/09	414	100%	18,0	11,0	7,0	5.003	25	446	1,7	1,7	1,7	0	5.450
2009/10	408	100%	18,9	11,7	7,1	8.368	34	642	2,9	2,9	2,9	0	9.010
2010/11	505	100%	18,9	11,8	7,1	9.253	32	610	2,6	2,6	2,6	0	9.862
2011/12	561	100%	18,7	11,9	6,8	8.141	31	572	2,1	2,1	2,1	0	8.714
2012/13	536	100%	20,0	12,4	7,7	10.137	32	643	2,5	2,5	2,5	0	10.780
2013/14	492	100%	19,7	12,4	7,3	9.755	35	694	2,7	2,7	2,7	0	10.450
2014/15	377	100%	19,8	12,6	7,2	8.400	30	595	3,1	3,1	3,1	0	8.995
2015/16	382	100%	20,5	13,0	7,5	8.238	28	570	2,9	2,9	2,9	0	8.808
2016/17	372	100%	18,1	11,6	6,4	7.293	22	397	3,0	3,0	3,0	0	7.689
2017/18	386	100%	17,3	11,2	6,1	5.116	27	469	2,2	2,2	2,2	0	5.585
2018/19	343	100%	17,0	10,8	6,2	6.923	25	425	3,2	3,2	3,2	0	7.348
2019/20	383	100%	16,9	10,7	6,2	6.978	18	297	3,0	3,0	3,0	0	7.275
2020/21	517	100%	16,8	10,7	6,1	8.791	16	268	2,8	2,8	2,8	0	9.059



Tabla A5: Maíz: evolución de beneficios brutos de adopción de cultivos GM

Campaña	FOB (1) U\$/tn	Adopción GM (2) %	Superficie real (3) Mha	Superficie escenario sin GM (4) Mha	Diferencia área (5) = (4) - (3) Mha	Beneficio bruto área (6) = (10) * (5) * (1) M U\$	Cambio costos (7) USD/ha	Beneficio bruto costos (8) = (7) * (3) * (2) M U\$	Rinde medio (9) tn/ha	Rinde no GM (10) tn/ha	Rinde GM (11) tn/ha	Beneficio bruto rinde (12) M U\$	Beneficio bruto total (12) + (8) + (6) M U\$
1998/99	96	1%	3,3	3,2	0,1	25	-12	0	4,1	4,1	4,5	1	26
1999/00	87	10%	3,7	3,2	0,4	162	-12	-4	4,6	4,6	5,0	13	170
2000/01	88	20%	3,5	3,1	0,4	155	-12	-9	4,4	4,3	4,7	24	170
2001/02	98	30%	3,1	2,7	0,4	163	-12	-11	4,8	4,7	5,1	38	189
2002/03	103	40%	3,1	2,8	0,3	128	-12	-15	4,9	4,7	5,2	54	166
2003/04	105	50%	3,0	2,7	0,3	137	-12	-18	5,0	4,8	5,2	67	186
2004/05	91	60%	3,4	3,2	0,2	120	-12	-25	6,0	5,7	6,2	96	191
2005/06	126	68%	3,2	3,0	0,2	111	-12	-26	4,5	4,4	4,6	60	145
2006/07	161	72%	3,6	3,3	0,2	221	-13	-32	6,1	5,9	6,2	121	310
2007/08	205	73%	4,2	4,0	0,2	246	-23	-70	5,2	5,0	5,3	159	336
2008/09	168	82%	3,5	3,3	0,2	95	-29	-84	3,8	3,6	3,8	87	98
2009/10	197	82%	3,7	3,5	0,1	168	-33	-99	6,2	5,9	6,2	176	245
2010/11	289	85%	4,6	4,3	0,3	363	-33	-127	5,2	5,0	5,3	280	517
2011/12	270	92%	5,0	4,7	0,3	321	-34	-155	4,2	4,1	4,3	252	418
2012/13	243	98%	6,1	5,8	0,4	460	-33	-198	5,2	5,0	5,2	363	624
2013/14	199	96%	6,1	5,8	0,3	351	-34	-200	5,4	5,2	5,4	302	453
2014/15	169	93%	6,0	5,7	0,3	276	-28	-158	5,6	5,4	5,6	255	373
2015/16	175	93%	6,9	6,4	0,5	439	-25	-158	5,8	5,5	5,8	310	592
2016/17	160	96%	8,5	7,8	0,6	570	-15	-122	5,8	5,6	5,8	363	811
2017/18	172	99%	9,1	8,4	0,7	577	-5	-48	4,8	4,5	4,8	354	884
2018/19	165	97%	9,0	8,4	0,6	637	-6	-55	6,3	6,0	6,3	434	1.017
2019/20	179	99%	9,0	8,4	0,6	689	-8	-68	6,3	6,0	6,3	480	1.101
2020/21	234	99%	9,4	8,7	0,7	1.098	-9	-80	7,4	7,0	7,4	769	1.788



Tabla A6: Ahorro de emisiones de dióxido de carbono por secuestro de carbono

Campaña	Sup. Sembrada con SD	Ahorro de emisiones de dióxido de carbono
	Millones de ha	Millones de Tn
1996/97	1,8	0,5
1997/98	2,5	0,8
1998/99	2,8	0,8
1999/00	4,5	1,3
2000/01	6,5	2,0
2001/02	8,2	2,5
2002/03	9,3	2,8
2003/04	11,5	3,5
2004/05	12,3	3,7
2005/06	13,0	3,9
2006/07	14,6	4,4
2007/08	16,1	4,8
2008/09	16,9	5,1
2009/10	19,7	5,9
2010/11	22,6	6,8
2011/12	22,6	6,8
2012/13	24,5	7,3
2013/14	24,0	7,2
2014/15	23,7	7,1
2015/16	25,3	7,6
2016/17	24,7	7,4
2017/18	24,9	7,5
2018/19	24,1	7,2
2019/20	23,3	7,0
2020/21	24,4	7,3
Acumulado 1996-2020		121,1



Anexo II: Modelo de equilibrio parcial

Al analizar el impacto que representó para la agroindustria argentina el surgimiento de las semillas OGM, es difícil aislar el efecto exclusivo de este fenómeno, dado que en la práctica se observó de manera simultánea a una gran expansión de la siembra directa, y el crecimiento del área bajo doble cultivo (invierno y verano) en una misma campaña.

De ese modo, se optó por estimar el impacto de los OGM de manera indirecta. Básicamente, se asumió que la evolución del área observada responde a un proceso compuesto por tres efectos separables:

$$Area_{i,t} = \Phi_i Tendencia_{i,t} . Precios_{i,t} . Ogm_{i,t}$$

donde $Area_{i,t}$ es la superficie destinada a la siembra del cultivo i (maíz y soja) en la campaña t , Φ_i es una constante, $Tendencia_{i,t}$ es una línea de crecimiento exponencial, $Precios_{i,t}$ es el efecto del conjunto de precios y políticas sobre las decisiones de los productores, y $Ogm_{i,t}$ agrupa el resto de los efectos no explicados en los otros componentes que se pueden asociar a los cambios tecnológicos ocurridos en el sector, que fueron posibles gracias a las semillas OGM.

Para extraer el efecto $Precios_{i,t}$ se recurrió a un modelo de equilibrio parcial cuya ecuación de decisión de siembra está dada por:

$$Area_{i,t} = \prod_j \left(\frac{P_{jt}, Rinde_{jt}}{Costos_{jt}} \right)^{\mu_{i,j}} . R_{it}$$

Aquí P_{jt} es el precio recibido por el productor, que contempla tanto la evolución del precio FOB de exportación como los descuentos por derechos de exportación, gastos de fobbing y comercialización, costo de transporte y costos de cosecha, $Rinde_{jt}$ es el rendimiento por hectárea de cada cultivo, y $Costos_{jt}$ es un índice que contempla la evolución de los costos de producción considerando tanto insumos como labores, incluida su evolución en función de la tasa de adopción de OGM.

Las elasticidades $\mu_{i,j}$ indican la expansión de las áreas en función de los incentivos de precios y se tomaron de Brescia y Lema (2001), con excepción de la elasticidad cruzada área soja – precio maíz que se asumió cero. Ello se debe a que en las pruebas se observó que el precio del maíz provocaba impactos inverosímiles sobre el área de soja, y su eliminación es razonable debido a que el valor P del test de significatividad mostrado por los autores es de 0,1254.



Por otro lado, el residuo R_{it} contiene el resto de los efectos no explicitados, por lo que es posible definir:

$$Precios_{it} = \prod_j \left(\frac{P_{jt} \cdot Rinde_{jt}}{Costos_{jt}} \right)^{\mu_{i,j}}$$

De ese modo, $R_{it} = \Phi_i \cdot Tendencia_{i,t} \cdot Ogm_{i,t}$, y estimando la tendencia a partir de información histórica surge $Ogm_{i,t}$.



Glosario

Cociente de Impacto Ambiental (EIQ): el Cociente de Impacto Ambiental (EIQ) es una de las herramientas que utilizada para medir los logros en la reducción del riesgo de agroquímicos. Fue desarrollado en 1992 por la Universidad de Cornell, EE. UU., y proporciona una indicación de los posibles riesgos ambientales y para la salud de los pesticidas.

Cultivar o variedad: Un cultivar es un grupo de plantas seleccionadas artificialmente por diversos métodos a partir de un cultivo más variable, con el propósito de fijar en ellas caracteres de importancia para el obtentor que se mantengan tras la reproducción (Brickell, 2002).

Equilibrio parcial: Modelo económico que analiza el comportamiento de precios y cantidades en un mercado determinado, asumiendo sin cambios los precios de los productos no contemplados de manera explícita, incluido los de los factores productivos.

Evento o Evento de transformación genética: un evento es una recombinación o inserción particular de ADN ocurrida en una célula vegetal a partir de la cual se originó la planta transgénica. Los eventos de transformación son únicos, y difieren en los elementos y genes insertados, los sitios de inserción en el genoma de la planta, el número de copias del inserto, los patrones y niveles de expresión de las proteínas de interés, etc. Los eventos pueden además acumularse por cruzamiento convencional, lo que llamamos “combinación de eventos”, para obtener fácilmente plantas con varias características combinadas (ArgenBio, 2020).

Secuestro de carbono: El secuestro de carbono es el proceso de capturar y almacenar dióxido de carbono de la atmósfera. A medida que los cultivos realizan la fotosíntesis para producir alimentos, absorben el dióxido de carbono de la atmósfera y generan oxígeno. A través de este proceso químico, el carbono se secuestra en el suelo.



25
AÑOS

**DE CULTIVOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS
EN LA AGRICULTURA ARGENTINA**



**Bolsa
de Cereales**