INBIO
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Cultivos **genéticamente modificados (GM)** en la agricultura paraguaya

Agustín Tejeda Rodríguez
Daniela Belén Regeiro
Jimena Vicentin Masaro
Marcelo Regúnaga
Nicolás Jorge
Eduardo Trigo

Bolsa de Cereales

FUNDACIÓN INAI
INSTITUTO PARA LAS NEGOCIACIONES AGRÍCOLAS INTERNACIONALES

Prólogo

Durante las últimas dos décadas la República del Paraguay ha registrado un destacado proceso de crecimiento económico y desarrollo territorial. La notable evolución del sector agropecuario, y en particular de la producción de granos, su procesamiento y exportaciones, han contribuido significativamente a dicho proceso.

Esta evolución no sólo fue muy importante para el desarrollo económico del país, sino que además permitió posicionar al Paraguay como un actor relevante en la seguridad alimentaria mundial, precisamente en momentos en los cuales el mundo ha enfrentado crecientes desafíos para abastecer el aumento de la demanda mundial de alimentos registrada desde inicios del Siglo XXI.

La gran capacidad que demostró el sector agrícola del Paraguay para garantizar un proceso de crecimiento sostenido de la producción y las exportaciones de soja y de maíz, permitió que el país aprovechara las condiciones favorables del mercado internacional. Dicho dinamismo sigue vigente y plantea nuevos desafíos para el futuro.

La seguridad alimentaria y la producción de energías renovables han surgido en las últimas décadas como temas de alta prioridad en las agendas de los líderes de los principales foros internacionales (Grupo de los 7, Grupo de los 20, FAO, Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios de la Organización de las Naciones Unidas, etc.), en virtud de los grandes desafíos que enfrentará el mundo en las próximas décadas para atender al mismo tiempo las demandas crecientes de alimentos, la sostenibilidad de los recursos naturales y la adaptación a las condiciones cambiantes del clima.

Ante dicho contexto internacional, de gran importancia para el futuro desarrollo del país, el Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) ha realizado un estudio detallado sobre los principales factores que permitieron explicar el excelente desempeño de la producción de granos en Paraguay, y analizar sus principales impactos macroeconómicos y en los participantes en las cadenas de valor, así como en materia sanitaria y ambiental.

Teniendo en cuenta la importancia estratégica de la genética y, en particular de los desarrollos biotecnológicos en el crecimiento de la producción, en la sostenibilidad y en los aspectos sanitarios y ambientales, el estudio ha analizado en detalle el rol que han jugado los cultivos genéticamente modificados en dicha evolución. Para ello se han tenido en cuenta los antecedentes disponibles en la bibliografía internacional y de la región, y se han estimado sus impactos en la agricultura del Paraguay.

Entendemos que el presente documento y sus reflexiones finales constituyen una valiosa contribución del INBIO para el futuro desarrollo sostenido del país.

Alfred Fast
Presidente del INBIO

Índice

Resumen Ejecutivo 1

1. Introducción 3

2. Zonas agroecológicas y principales cultivos 3

2.1. Zonas agroecológicas 3

2.2. Principales cultivos 5
   a. Soja 5
   b. Maíz 6
   c. Algodón 8
   d. Evolución del área sembrada con los tres cultivos 9

3. La producción de cultivos GM en paraguay 9

3.1. Principales variedades registradas y eventos autorizados 9
   a. Variedades registradas 10

3.2. Producción de cultivos gm en paraguay 13
   a. La tecnología aplicada en la soja 14
   b. La tecnología aplicada en el maíz 15

4. Impacto económico de la adopción de los cultivos GM 17

4.1. A nivel de productor 17
   a. Antecedentes 17
   b. Metodología utilizada 18
   c. Impacto en el cultivo de soja 18
   d. Impacto en el cultivo de maíz 20

4.2. A nivel agregado 22
   a. Impacto en el área cultivada 22
   b. Impactos en la producción y en las exportaciones 25
   c. Impactos en la cadena de producción 26

5. Impacto ambiental 27

5.1. Impacto en el uso de agroquímicos 29
   a. El uso de agroquímicos en soja 29
   b. El uso de agroquímicos en maíz 32

5.2. Impacto en el manejo y conservación del agua y del suelo 34

5.3. Impacto en las emisiones de dióxido de carbono 35
a. Reducción de emisiones por menor uso de combustible 36
b. Reducción de emisiones por secuestro de carbono 39

6. El paquete tecnológico actual. Fortalezas y temas críticos a tener en cuenta para la sostenibilidad de los desarrollos. 41

7. Desafíos para continuar aprovechando los beneficios de la tecnología. 43

Referencias 48

Anexo I: Tablas 51

Anexo II: Modelo de equilibrio parcial 58

Anexo III: INBIO 60

Resumen ejecutivo

El propósito del presente documento es describir el proceso de adopción de los cultivos genéticamente modificados en Paraguay y su situación actual, evaluar los principales impactos económicos y ambientales asociados a su adopción y reflexionar acerca de los principales desafíos a tener en cuenta para el desarrollo futuro de la agricultura del país.

El proceso de adopción de cultivos GM se inició en Paraguay en el año 2004 con la introducción de la soja tolerante a herbicidas. Se han aprobado un total de 458 variedades GM en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales, de las cuales 58% correspondieron a Soja, el 41% a maíz y 1% a algodón, incluyéndose como características a la tolerancia a herbicidas (41,3%), la resistencia a insectos (7%) y a los eventos apilados (51,7%). El ritmo de adopción por parte de los productores fue elevado para los tres cultivos, alcanzándose para la campaña 2021/2022 un 99% de la superficie de la soja, un 80% del maíz, y un 100% del algodón.

El informe analiza los beneficios económicos de los cultivos GM. Los márgenes de producción resultaron superiores en 122,5 USD/ha en promedio en los últimos años para el caso de la soja, y 94,5 USD/ha para el maíz, cifras que se explican por menores costos de producción y mejores rendimientos promedio.

Por otro lado, se estima que desde 2004 1,4 millones de hectáreas adicionales se sembraron gracias a las semillas GM y a sus tecnologías relacionadas, un 89% de lo cual se explica por el poroto de soja. La expansión del área total superó los 2,2 millones de hectáreas, lo que incluye, además, el efecto de los precios internacionales impulsado por el gran crecimiento de la demanda por cereales y oleaginosas, producto de mejoras en el nivel de ingresos de países en desarrollo importadores de alimentos. Pero el rol de los OGM y la siembra directa es clave para todos los tamaños de productores, quienes pueden hoy apreciar los beneficios asociados a mejoras en el cuidado del suelo, menores costos y mayores rendimientos asociados al paquete tecnológico y, con ello, aprovechar mejoras en los márgenes.

Si se toman en cuenta todos los años desde la aprobación de la tecnología GM en Paraguay, los beneficios suman 31.981 millones de dólares, el 91% de los cuales corresponde a la soja y el 9% al maíz. De los 29.742 millones de dólares de beneficios por el cultivo de soja GM, el 82% corresponde al beneficio bruto por expansión de área sembrada, mientras que el 18% corresponde a las mejoras por reducción de costos de producción. Para el maíz, el 85% de los 2.239 millones de dólares de incremento corresponde a expansión de área, el 5% a reducción de costos, y el 10% a una mejora en los rendimientos promedio.

En cuanto al incremento en el valor agregado por año gracias a la tecnología GM, el principal componente se encuentra en la producción primaria, con 1.967 millones de dólares, pero se incluyen también 637 millones de dólares en servicios de transporte y comercialización, 82 millones por la industria de *crushing* de soja, y 290 millones de incremento en la recaudación fiscal (campaña 20/21).

En términos del impacto en el medio ambiente, el documento muestra que la existencia de semillas GM dio lugar a una reducción en el uso de herbicidas e insecticidas en cantidad de

ingrediente activo liberado al ambiente, así como también redujo los niveles de toxicidad de estos. Por otro lado, la tecnología GM facilitó la adopción de la siembra directa, trayendo beneficios agronómicos en términos de menor erosión del suelo, mejor aprovechamiento del agua y más estabilidad en los rendimientos, entre otros. Pero también genera mejoras en términos de gases de efecto invernadero, dado que se permitió una reducción en emisiones de carbono de más de 200 millones de kg por año, equivalente al consumo anual de combustible de 133 mil autos. Al mismo tiempo, se permitió mayor acumulación de carbono en el suelo, con 1.201 miles de toneladas para la campaña 2021/2022.

Más allá de los beneficios, el documento señala un número de aspectos sobre los que puede profundizarse el trabajo. Desde lo técnico, se explica que es posible acercarse al rendimiento potencial por medio de mejoras en el balance de nutrientes de los suelos. Asimismo, existen posibilidades de mejora en cuanto al manejo de malezas resistentes a herbicidas. En cuanto al cuidado de la tecnología BT, se debería avanzar en el cumplimiento de los requerimientos de refugio.

Finalmente, el estudio se enfoca en la importancia de los temas de largo plazo. Encuentra que las nuevas exigencias de los mercados estimulan a continuar implementando esquemas sistémicos de intensificación sostenible, lo que requiere estructuras institucionales y marcos normativos que estén a la altura del desafío. Se destaca que en el futuro la importancia de asegurar el acceso a las innovaciones parece más relevante aún. En este sentido se destaca en rol muy positivo cumplido por el INBIO. Por otro lado, se menciona la necesidad de integrar los aspectos de la política nacional con las políticas referidas a las negociaciones comerciales internacionales.

La región cuenta con un importante potencial de crecimiento de la producción de alimentos con sistemas sostenibles, lo que le permitirá jugar un papel estratégico en la seguridad alimentaria global de las próximas décadas. Se trata de una fortaleza relevante de Paraguay, compartida con sus socios del MERCOSUR. El rol de las innovaciones será crucial para tal propósito.

1. Introducción

Existe una extensa literatura internacional que demuestra que los cultivos genéticamente modificados (GM) reportan impactos positivos para quienes los utilizan. La adopción de estos cultivos simplifica los procesos productivos, permite un uso más eficiente de los recursos naturales y reduce el uso de fitosanitarios, resultando en reducciones de costos y en algunos casos aumentos de rendimientos, lo que redunda en beneficios económicos y ambientales dentro de las economías donde se cultivan.

Si bien hubo un rezago en la aprobación de estos cultivos en Paraguay con relación a Argentina y Estados Unidos (EEUU), su implementación efectiva ha sido rápida, provocando efectos relevantes sobre la dinámica y estructura del sector. Actualmente, los cultivos de soja, maíz y algodón suman 4,6 millones de hectáreas en Paraguay. El proceso de adopción de cultivos GM se inició en 2004 con la introducción de la soja tolerante a herbicidas, aprobada dicho año para su comercialización. Sin embargo, el cultivo GM ya había comenzado a utilizarse desde 1997. Algo similar sucedió con el algodón y el maíz, para los cuales la aprobación de los eventos se dio en 2011 y 2012, respectivamente, pero ya se utilizaban en el país desde 2007.

El propósito del presente documento es describir el proceso de adopción de los cultivos GM en Paraguay y su situación actual, evaluar los principales impactos económicos y ambientales asociados a su adopción y reflexionar acerca de los principales desafíos a tener en cuenta para el desarrollo futuro de la agricultura del país.

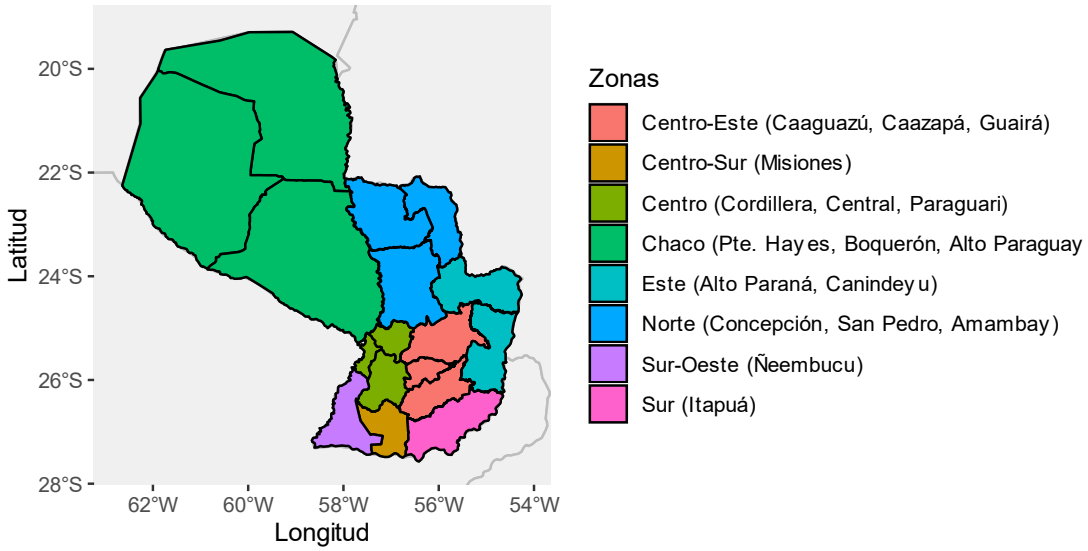
Los contenidos del documento incluyen la presente introducción; en el Capítulo 2 se describen las principales zonas agroecológicas del país y cultivos; en el Capítulo 3 se analiza la evolución y alcances de la producción de cultivos GM en Paraguay, describiendo las biotecnologías utilizadas en soja y maíz; en el Capítulo 4 se analiza el impacto económico de la adopción de los cultivos GM a nivel del productor y a nivel agregado; en el Capítulo 5 se analizan los principales impactos ambientales; en el Capítulo 6 se analiza el paquete tecnológico utilizado; y en el Capítulo 7 se indican los principales desafíos a tener en cuenta para el desarrollo futuro de la agricultura del país.

2. Zonas agroecológicas y principales cultivos.

2.1. Zonas agroecológicas

Para una mejor comprensión del estudio se considera conveniente conocer las zonas productivas de Paraguay y, para ello, se realiza una división del país en unidades geográficas más pequeñas, que presentan similares características relacionadas con su aptitud y potencial de producción. A dichas áreas se las denomina zonas agroecológicas y pueden ser observadas en la *Figura 1.*

Figura 1. Zonas agroecológicas de Paraguay



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

En general, las zonas pueden ser descriptas de la siguiente manera:

1. **Zona Este** (Departamento de Alto Paraná y Canindeyú): presenta una cobertura agroecológica tanto con cultivos temporales (soja, trigo, maíz, canola, hortícolas, entre otras) como permanentes (yerba mate, frutales, etc.).
2. **Zona Centro-Este** (Departamento de Caaguazú, Caazapá y Guairá): presenta menor superficie destinada a la producción agrícola que la zona Este. Sin embargo, hay producción de cultivos temporarios y permanentes (frutales como banano y yerba mate).
3. **Zona Sur** (Departamento de Itapuá): se ha identificado una cobertura agroecológica con cultivos temporales (soja, trigo, maíz, girasol, arroz y hortícolas) y permanentes (frutales principalmente naranjo y yerba mate).
4. **Zona Norte** (Departamento de San Pedro, Amambay Concepción): presenta cultivos temporales (oleaginosas, cereales, leguminosas, hortícolas) y permanentes (yerba mate y frutales).
5. **Zona Centro** (Departamento de Paraguarí, Cordillera y Central): presenta el 2% de la superficie de las zonas agroecológicas del país. El cultivo con mayor extensión es la caña de azúcar.
6. **Zona Centro-Sur** (Departamento de Misiones): los cultivos con mayor superficie en la zona son el arroz con riego y la soja.
7. **Zona Sur-Oeste** (Departamento de Ñeembucú): se destina esta zona a los cultivos de algodón, maíz, poroto, etc.

8. **Zona Chaco** (Departamento de Boquerón, Pte. Hayas y Alto Paraguay): esta zona presenta poca superficie sembrada, en la misma se presenta producción silvo-pastoril.

2.2. Principales cultivos

El sector agropecuario es muy importante en la economía del Paraguay, representando aproximadamente entre el 8% y el 12% del PBI (Banco Central de Paraguay, 2022; Ministerio de Hacienda, 2021). En 2020 exportó un total de 8.517,9 millones de dólares, cuyos principales destinos fueron Brasil (26%), Argentina (25%) y Chile (9%).

El poroto de soja es el principal producto de exportación, entre 2016-2020 representó el 25% del total exportado. En segundo lugar, el rubro de mayor exportación es la energía eléctrica, que significa el 20% del total exportado en dicho. Le sigue en importancia la carne bovina (13%) y subproductos del complejo sojero (8%); el maíz, por su parte, representó en promedio el 3,8% del total exportado entre 2016-2020 (Ministerio de Hacienda, 2021).

a. Soja

Dentro del sector agropecuario, el complejo sojero es el más importante en la actualidad: del total de casi 4,9 millones de hectáreas cultivables (Banco Mundial, 2022), la soja utiliza más de 4 millones de hectáreas (es decir, el 83,6%) y, en las últimas cinco campañas, ha tenido un desarrollo relativamente constante, con leves aumentos de superficie, excepto en la campaña 2021/22 (Figura 5). El rendimiento promedio entre 2012-2020, por su parte, ha sido de 2,7 tn/ha (INBIO, 2022).

Respecto a los usos del total de soja producido por Paraguay, en la campaña 2020/2021, el 66% ha sido destinado a la exportación de poroto de soja; el 30% se ha destinado a molienda y el resto se utilizó como semilla para siembra (CAPECO, 2022).

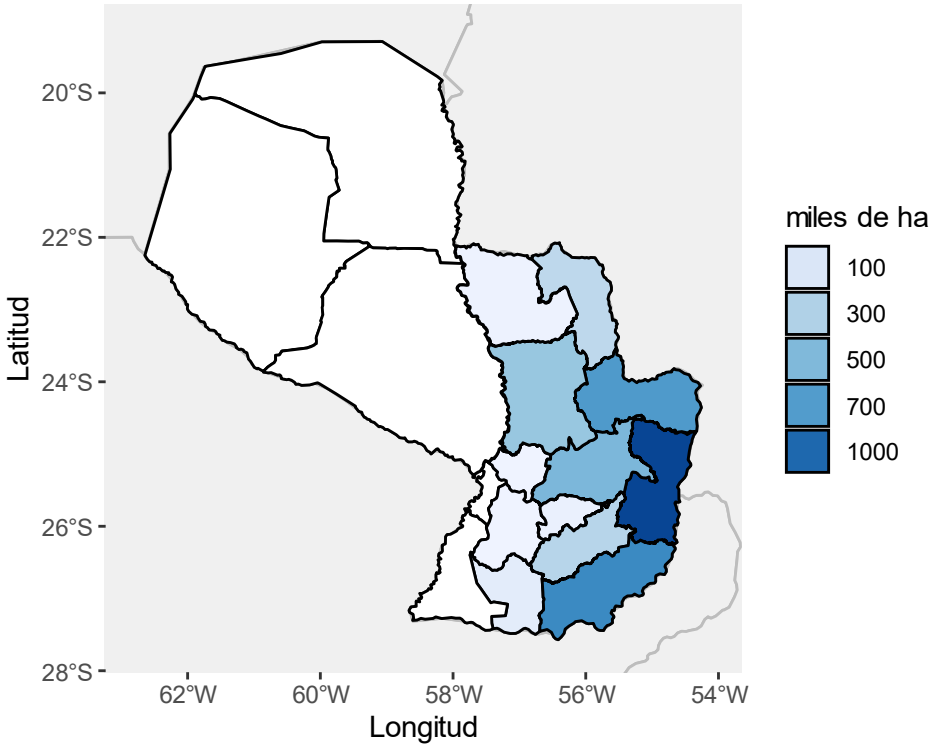
Paraguay es el cuarto exportador de soja en el ranking mundial. En 2020 el complejo sojero realizó exportaciones por 3.250 millones de dólares, de los cuales el 66% fueron exportaciones de porotos de soja.

La siembra del cultivo de soja zafra (de primera) en Paraguay comienza en el mes de septiembre, yendo desde los departamentos del Sur hacia el Norte; y finaliza a fin de septiembre – octubre, dependiendo de la humedad en el perfil.

En el caso de la soja zafriña (de segunda) la fecha de siembra está relacionada con la liberación del lote del cultivo antecesor; la misma suele ser en enero. También se comienza sembrando desde el Sur hacia el Norte.

La *Figura 2* indica la intensidad de la producción de soja (área cultivada) en los principales Departamentos.

Figura 2. Principales departamentos con producción de soja en Paraguay en 2020/21.



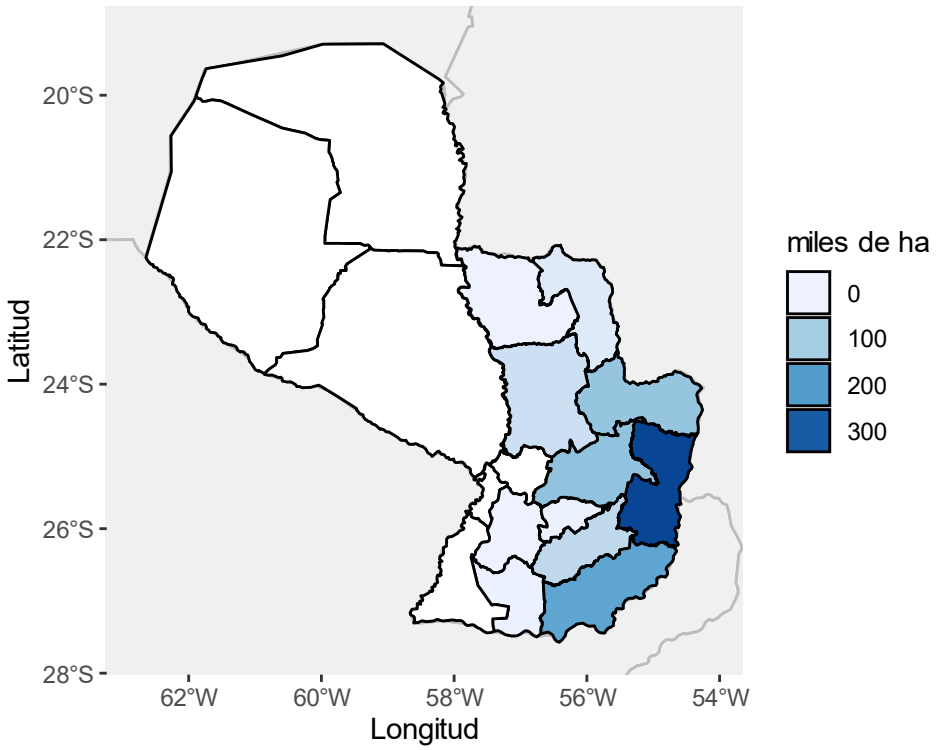
Nota: los departamentos en blanco indican que no hay área sembrada de soja en el año de referencia en la fuente consultada.

Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires con datos de INBIO.

b. Maíz

El cultivo del maíz, por su parte, utiliza una superficie aproximada de 1 millón hectáreas en total (lo que significa el 20% del total de área cultivable), y también ha tenido una evolución creciente en los últimos cinco años, como se aprecia en la Figura 5. Entre 2010 y 2021 el área sembrada de maíz ha aumentado casi 50% (contando maíz zafra y zafriña). El mayor crecimiento en el área sembrada se produjo a partir de la utilización de semillas GM: en promedio, el área sembrada entre 1998 y 2006 fue de 430 mil hectáreas, mientras que entre 2007 y 2021, en promedio, se sembraron 800 mil hectáreas, lo que implica un incremento de 90% entre ambos períodos (MAG, 2022; INBIO, 2022). Actualmente, la zona con mayor superficie de producción es la región Oriental *(Figura 3)*.

Figura 3. Principales departamentos con producción de maíz en 2020/21.



Nota: los departamentos en blanco indican que no hay área sembrada de soja en el año de referencia en la fuente consultada.

Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires con datos de INBIO.

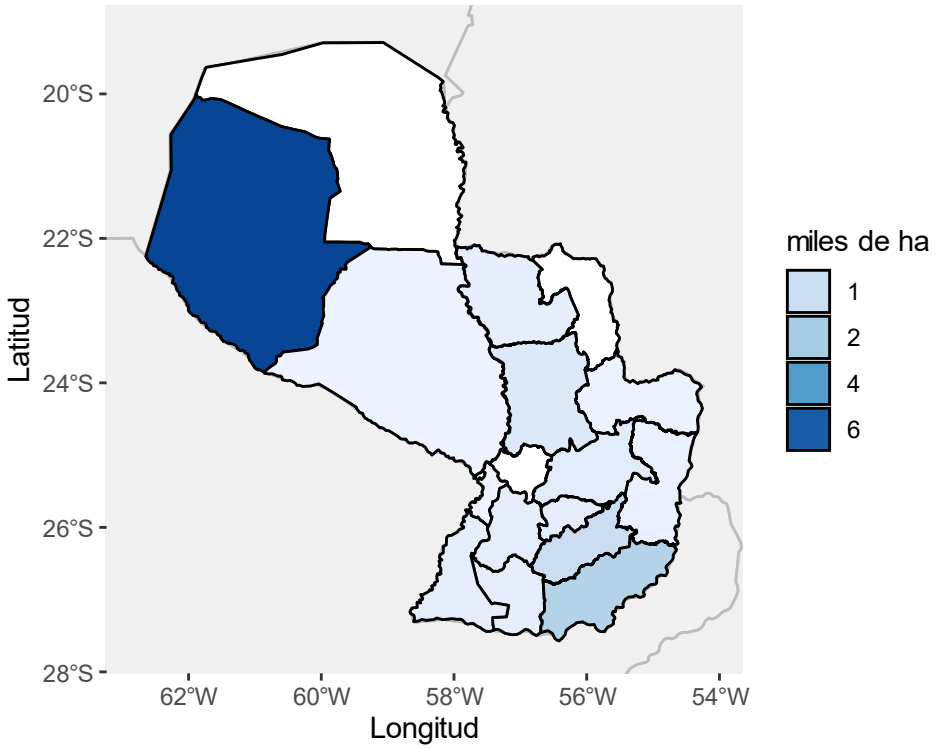
Respecto a los usos del maíz, cabe mencionar la gran importancia de éste en el consumo interno. Entre 2005 y 2011, el consumo interno de maíz fue del 49% aproximadamente de la producción, incluyendo consumo humano y para alimentación animal. Paraguay mostró significativas mejoras en rindes de maíz, en particular; ha pasado de rendimientos promedios en 1999 del orden de 1,95 tn/ha a más de 5 tn/ha a partir de 2019 (CAPECO, 2022). Según un informe de la Universidad Nacional de Asunción, en la campaña 2020/2021, aproximadamente el 56% de la producción se destinó a exportaciones, el 28% a alimentación, semillas e industria y, el 16% a la producción de alimentos balanceados/alimentación animal. Las exportaciones de maíz en 2020, por su parte, sumaron 322 millones de dólares y representaron el 8% del total exportado en dicho año.

El cultivo de maíz presenta la misma dinámica de siembra que el cultivo de soja, comenzando por los departamentos del Sur y extendiéndose hacia el Norte. El maíz zafra comienza a sembrarse en agosto-septiembre. Por otro lado, el maíz zafriña, suele sembrarse desde enero a no más de fines de febrero debido a la posibilidad de ocurrencia de heladas tempranas.

c. Algodón

El algodón, por su parte, ha mostrado una clara tendencia decreciente. La superficie sembrada era, en promedio, entre 2000 y 2006 de 221 mil hectáreas. En 2007 mostró una fuerte caída de la superficie a menos de 70 mil hectáreas, y a partir de allí se mantuvo en niveles bajos de área cultivada, tanto es así que actualmente se produce algodón en menos de 15 mil hectáreas. Esta producción de algodón se ha caracterizado por una agricultura tradicional familiar a pequeña escala. Hoy en día ha ganado importancia la producción en la zona Occidental (Chaco), principalmente en el departamento de Boquerón, pero aún siguen existiendo explotaciones en la zona Oriental de Paraguay: Itapúa (Sur), Caaguazú (Centro-Este) y San Pedro (Norte) *(Figura 4).* La época de siembra va de setiembre a noviembre, concentrándose en octubre en la región Oriental. Mientras que en la región de Chaco la fecha de siembra es en enero.

Figura 4. Principales departamentos con producción algodón en 2020/21.



Nota: los departamentos en blanco indican que no hay área sembrada de algodón en el año de referencia. Fuente: Bolsa de Cereales de Buenos Aires con datos del MAG.

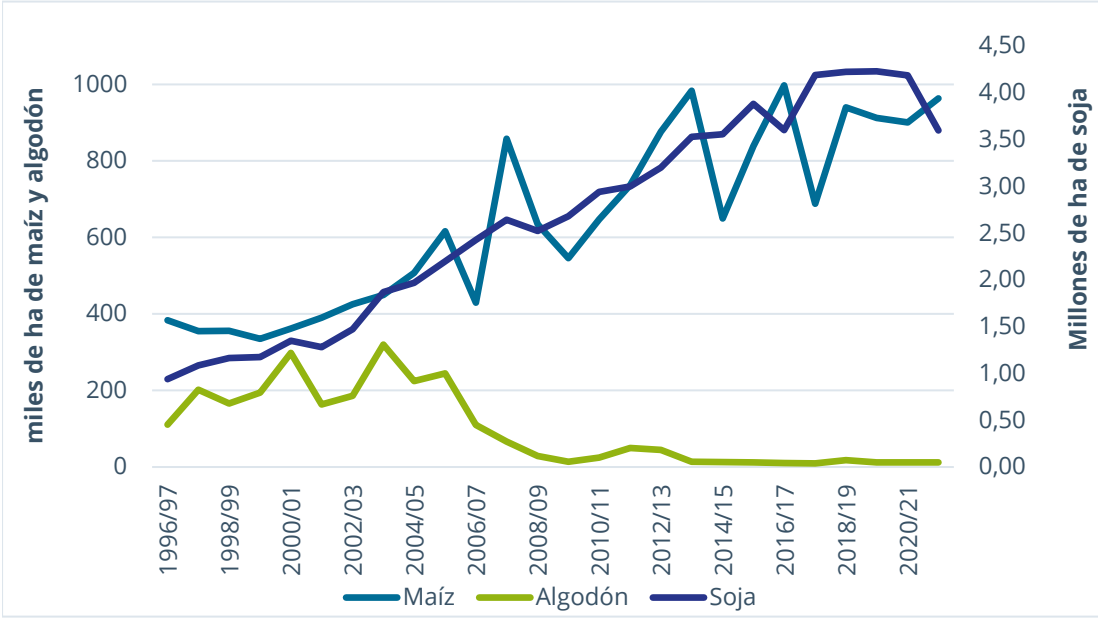
En general, el proceso consiste en que las desmotadoras compran el algodón en rama, exportando la fibra de calidad, por un lado, y utilizando las semillas para alimento de ganado en tambos, por el otro. Respecto a las exportaciones, en 2020 se exportaron fibras de algodón por algo más de 5 millones de dólares.

d. Evolución del área sembrada con los tres cultivos

En la *Figura 5* se puede ver la evolución del área sembrada de cada uno de los cultivos con eventos aprobados en Paraguay. En términos generales, los tres cultivos inician la década de 1990 con una superficie plantada similar.

Sin embargo, la evolución fue diferente desde entonces. Por un lado, se observan altas tasas de crecimiento de la soja: el área de soja en 2020 es más de 7,4 veces la sembrada en 1990[1]. Las hectáreas sembradas de maíz, por su parte, también crecieron, y el crecimiento a lo largo de todo el período fue de casi 400%. El área sembrada de algodón, por otro lado, muestra una clara tendencia negativa a lo largo de todo el período, con una caída significativa en 2006, a partir de entonces quedándose en niveles inferiores a las 60 mil hectáreas, es decir, un retroceso de 96% en todo el período.

Figura 5. Evolución del área sembrada de los tres cultivos con eventos GM Aprobados en Paraguay.



Notas: Se incluyen las ha de maíz y soja zafriña. Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires en base a datos de MAG e INBIO.

3. La producción de cultivos GM en Paraguay

3.1. Principales variedades registradas y eventos autorizados

El primer cultivo GM autorizado en la agricultura paraguaya fue la soja tolerante a herbicida (TH), aprobada para su comercialización en 2004, ocho años después de su aprobación en

[1] Comparación realizada entre el área destinada a soja publicada por INBIO en la campaña 2019/20 versus la publicada por el MAG en la campaña 1990/91

EE. UU. y en su país vecino, Argentina. Sin embargo, la producción de soja en Paraguay utilizando semillas GM había comenzado ya en 1997 (ISAAA, 2004).[2]

El marco regulatorio del país se comienza a gestar en aquel año, mediante el decreto 18481/97 del Poder Ejecutivo, en el que se estableció al Ministerio de Agricultura y Ganadería como la autoridad competente del sector agropecuario y forestal para otorgar autorizaciones y regular el uso de cultivos GM; pero recién en 2003 se cuenta procedimental e institucionalmente con el ambiente efectivo para que existan aprobaciones para la comercialización (IICA, 2010).

El marco regulatorio e institucional en relación a la biotecnología de Paraguay está constituido principalmente por: a) Ley N° 2309/03, que aprueba el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica; b) el Decreto N° 6.733/11, por el cual se aprueba el documento sobre política y el Programa Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal; c) el Decreto 9699/12, por el cual se crea la Comisión Nacional de Biotecnología Agropecuaria y Forestal; d) la Resolución N° 1348/12, por la cual se reglamenta el decreto N° 9699/12; e) la Resolución N° 1021/12, por la cual se conforma la Comisión Nacional de Bioseguridad Agropecuaria y Forestal; y f) la Resolución N° 988/13, por la cual se reglamentan los art. N° 33 y 34 de la Resolución N° 1348/12.

La Comisión Nacional de Bioseguridad Agropecuaria y Forestal (CONBIO)[3], es una comisión asesora a la Máxima Autoridad del Ministerio de Agricultura y Ganadería y tiene por objetivo atender, analizar y recomendar en todo lo referente a la introducción, ensayos de campo, liberación pre comercial, liberación comercial y otros usos propuestos de Organismos Genéticamente Modificados (OGMs).

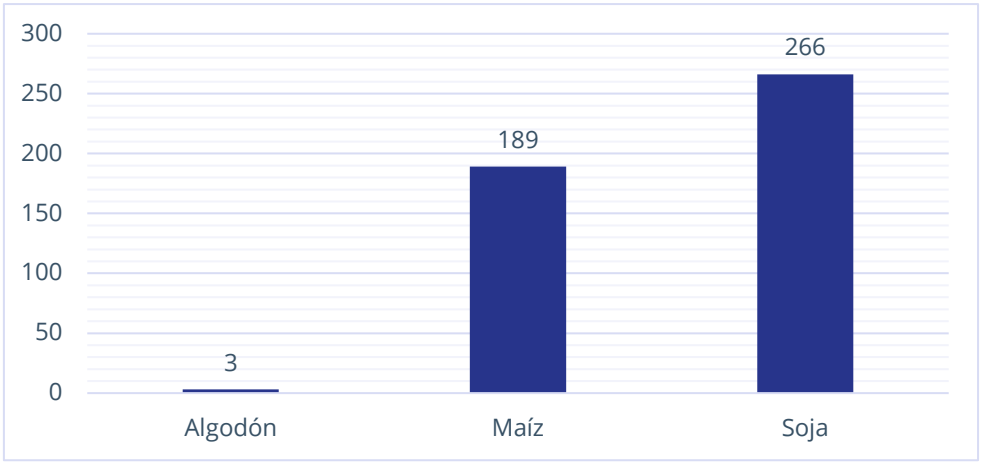
a. Variedades registradas

Desde 2004 en adelante, se han aprobado un total de 458 variedades GM. En la *Figura 6* se muestra el número de variedades GM registradas en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales, dependiente del Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE) desde entonces. Se observa que las cantidades registradas por año crecieron desde 4 variedades en 2004 hasta 45 en 2016, promediando 19 variedades de GM por año, incluyendo el 2022.

[2] Algunas fuentes periodísticas afirman que el área sembrada con semillas TH ascendía a 1 millón de has al momento de su aprobación, lo que indicaría que su implementación de hecho no comenzó en dicho año. Para más detalle ver: https://urlshortner.org/CVbZn, https://www.lanacion.com.ar/economia/la-historia-de-la-soja-maradona-nid717965/.

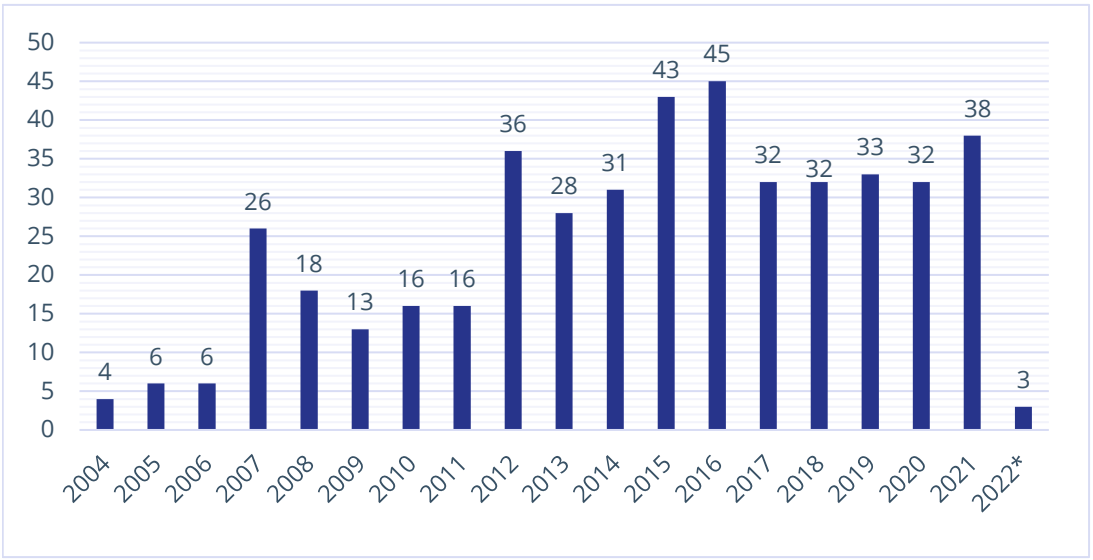
[3] Está conformada por representantes de las siguientes instituciones: Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG); Ministerio de Salud Pública y Bienestar Social (MSPyBS); Ministerio de Industria y Comercio (MIC); Servicio Nacional de Calidad y Salud Animal (SENACSA); Servicio Nacional de Calidad y Sanidad Vegetal y de Semillas (SENAVE); Instituto Forestal Nacional (INFONA); Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA); Secretaría del Ambiente (SEAM); y Universidad Nacional de Asunción (UNA)

Figura 6. Variedades GM en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales, por cultivo



Fuente: Registro Nacional de Cultivares Comerciales, SENAVE.

Figura 7. Variedades GM en el Registro Nacional de Cultivares Comerciales por año

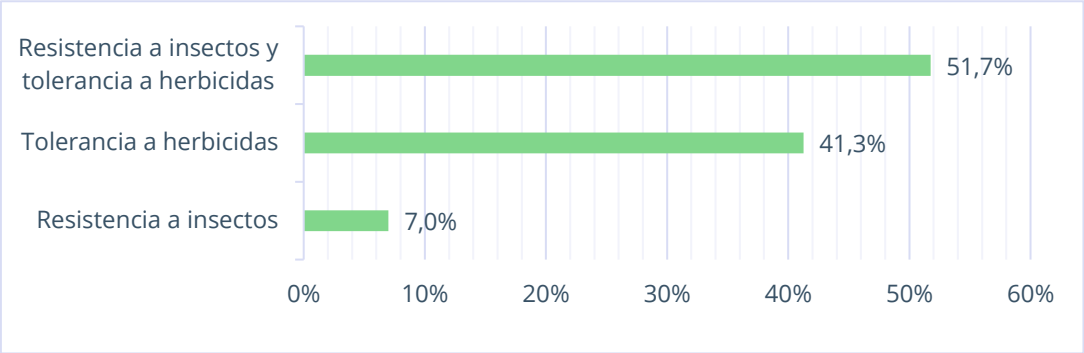


Notas: * Datos hasta el 24/06. Fuente: Registro Nacional de Cultivares Comerciales, SENAVE.

En el total del período, el 58% de las variedades GM registradas correspondieron a Soja y el 41% a maíz, el resto corresponde a variedades de algodón *(Figura 7).*

Por otra parte, estas variedades incluyeron como características la tolerancia a herbicidas (45,3%), la resistencia a insectos y tolerancia a herbicidas (ambas a la vez, 51,7%) y la resistencia a insectos (7%) tal como se describe en la *Figura 8.*

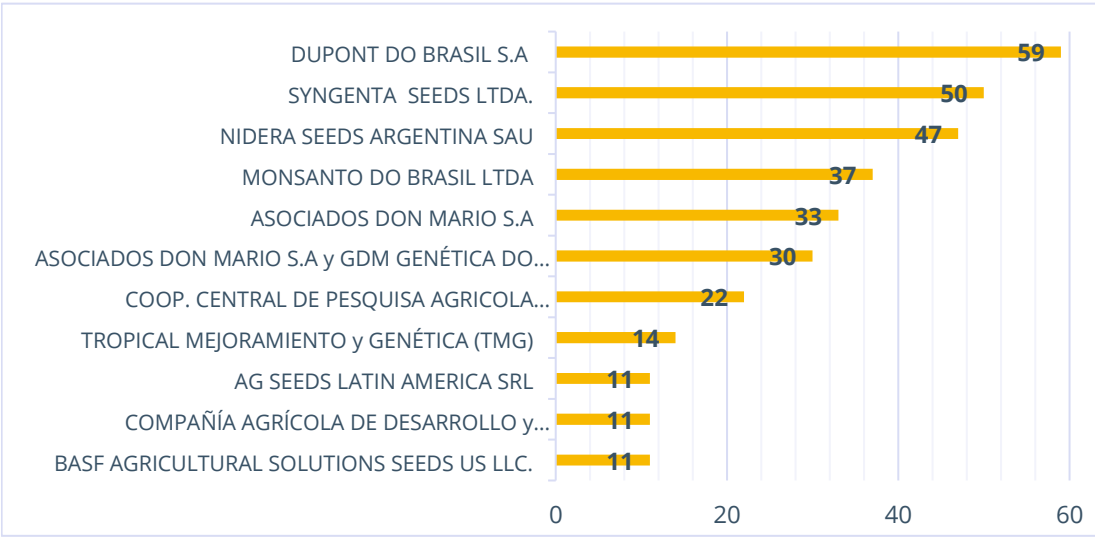
Figura 8. Variedades GM registradas por característica introducida en los tres cultivos



Fuente: Registro Nacional de Cultivares Comerciales, SENAVE.

Respecto a la cantidad de solicitudes presentadas al SENAVE por empresa o asociaciones de empresas, en total se contabilizaron en el período 46 solicitantes diferentes. Estos solicitantes no necesariamente refieren a empresas, ya que algunas de las solicitudes fueron inscriptas por un conjunto de empresas o asociaciones entre ellas. Los 10 principales solicitantes se muestran en la *Figura 9* y son: Dupont do Brasil (59), Syngenta Seed SA (50) y Nidera Seed Argentina (47). El primero solicitó el 100% de sus variedades en el cultivo de maíz, mientras que el segundo lo hizo en un 66%, y el tercero sólo en el 6,3%, respectivamente. Para estos dos últimos, el resto de las solicitudes fueron en soja. Del listado de mayores solicitantes de variedades, ninguno incluye variedades de algodón.

Figura 9. Variedades GM registradas por solicitante*. Principales 10 empresas



Notas: *Los solicitantes pueden ser grupo de empresas. Fuente: Registro Nacional de Cultivares Comerciales, SENAVE (2022).

Se han aprobado 46 eventos (y combinaciones de eventos) comerciales entre 2004 y la actualidad. En total, hay diez eventos aprobados en soja: el primero corresponde a Soja RR aprobado en 2004, en 2013-2014 se aprobaron otros dos (Soja Intacta (TH/RI) y soja tolerante al herbicida Imidazolinona); en 2019 se aprobaron 5 eventos TH y uno RI, mientras que en 2022 se aprobó otro evento apilado TH/RI.

En algodón, hay 7 eventos aprobados: el primero se aprobó a fines de 2011 (Algodón RI o Bt), dos en 2013 (Algodón BG1 y Algodón BG1-RR), uno en 2017 (TH/RI); dos en 2018 (RI y TH), y en 2019 se aprobó un evento TH.

En maíz, por su parte, hay un total de 29 eventos aprobados, todos a partir de 2012 con diferentes eventos individuales o apilados. Solo en 2022 se aprobaron 4 eventos: tres RI y uno TH. En el Anexo I, Tabla A1 se incluye la lista de eventos aprobados, incluyendo el nombre y las características de cada uno de ellos.

3.2. Producción de cultivos GM en Paraguay

No existen estadísticas oficiales que hagan la distinción en la superficie sembrada respecto de la adopción de cultivos GM en el país. En el *International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications* (ISAAA) se publica información sobre la utilización de biotecnología de cada país, teniendo información de Paraguay desde 2004 hasta 2018. Para el presente trabajo se complementa dicha información con estimaciones propias para completar los datos no disponibles[4].

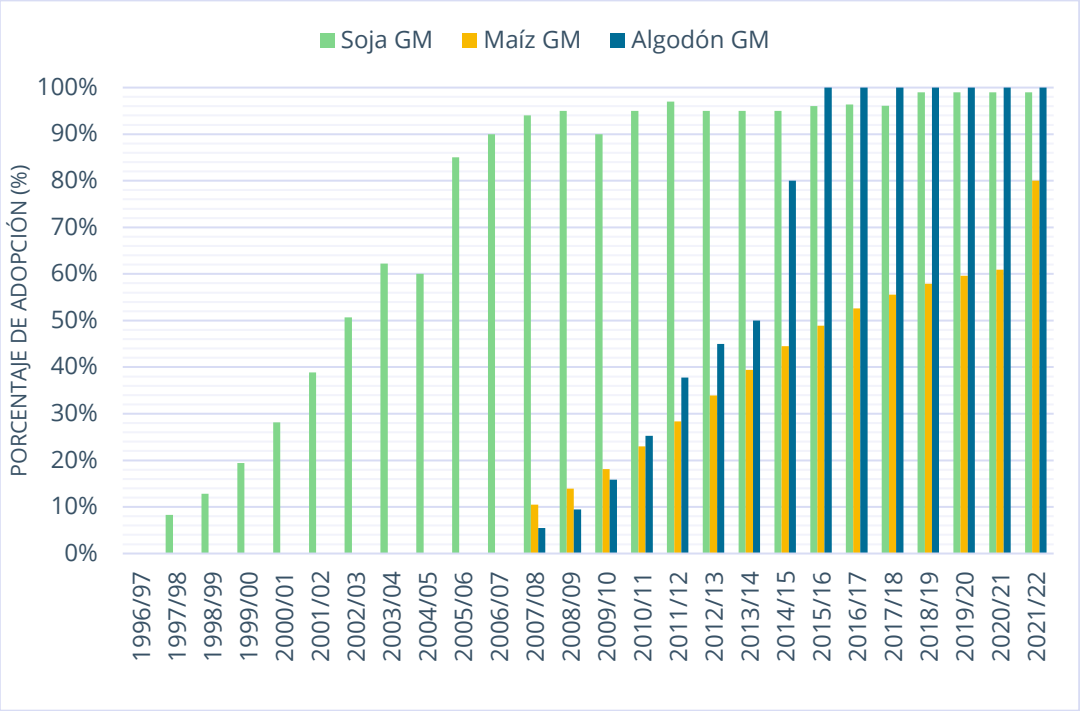
En la estimación se considera a 1997 como período de inicio en la adopción de la semilla de soja GM, periodo anterior a su aprobación en 2004. Para el caso del algodón y el maíz se estima el inicio de su utilización en 2007, aprobación de eventos en 2011 y 2012, respectivamente[5].

La *Figura 10* muestra los porcentajes de adopción estimados de los tres cultivos, es decir, la importancia del área sembrada con semillas GM en relación con el total de área dedicada a cada cultivo. Puede apreciarse el alto grado de adopción de los cultivos GM en soja y algodón, siendo el grado de adopción en maíz algo menor. En el estudio de impacto se tomará sólo el período a partir de la aprobación para comercialización.

[4] Utilizando los datos reportados por el ISAAA, se estimaron mediante una función logística.

[5] Como ya se ha mencionado, si bien la soja tolerante a herbicidas fue aprobada en 2004 en Paraguay, la misma ya era usada desde 1997 (Shaper & Parada, 2001). Ese mismo año de aprobación, el porcentaje de adopción ascendió al 60%, es decir, que el porcentaje de adopción ha sido muy alto en ese año, lo que indica que, en verdad la soja GM ya venía produciéndose en el país al momento de su aprobación. Algunas fuentes mencionan similar situación con el maíz y el algodón, es decir, que al momento de su aprobación (2011 y 2012, respectivamente) ya existía un uso importante de semillas GM.

Figura 10. Evolución de la participación de cultivos GM sobre el total del área para cada cultivo



a. La tecnología aplicada en la Soja

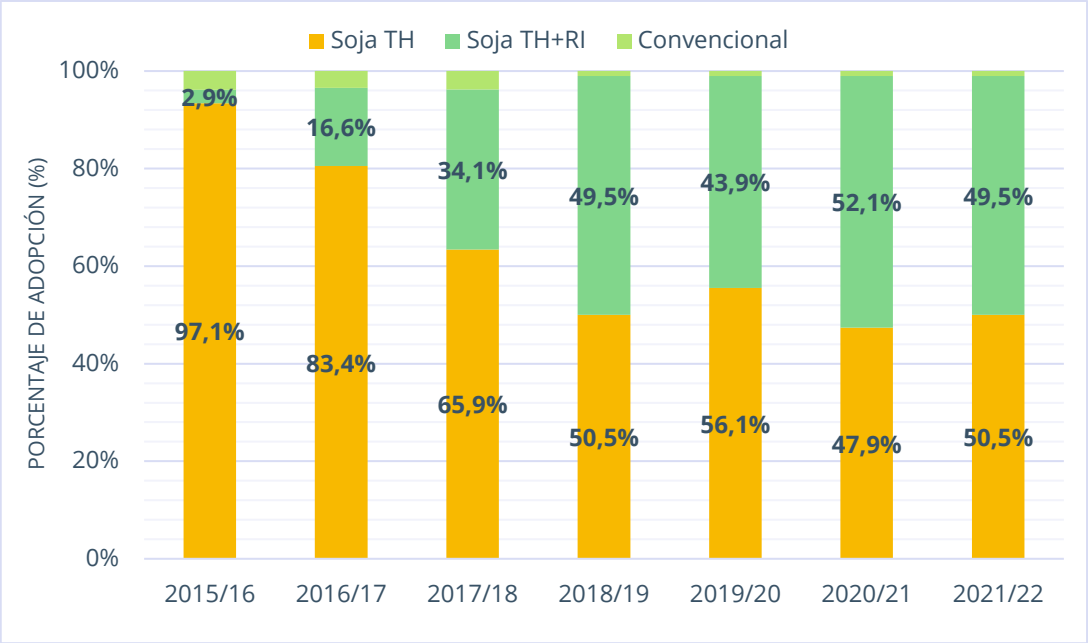
Luego de la introducción de la soja tolerante a glifosato, uno de los saltos tecnológicos más importantes en materia de semillas de soja se dio en el año 2012, con la autorización de la comercialización de semillas, productos y subproductos de soja con eventos acumulados de resistencia a insectos (RI)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

Al no contarse con datos oficiales para todo el período, se realizó una estimación de las adopciones de la tecnología en semilla a partir de los datos reportados por ISAAA (2022). Dentro de la adopción de GM, el organismo publica los % de adopción de Soja TH y TH+RI para los años 2015, 2016, 2017 y 2018. Estos datos fueron utilizados para aproximar las proporciones de adopción para el resto de los períodos[6].

En las últimas siete campañas el uso de la tecnología RI+TH (o Bt+RR2) ha mostrado un crecimiento significativo, pasando de 2,9% en la campaña 2015/16 a casi el 50% en la campaña 2021/22 (*ver Figura 11).*

[6] Se estima una función logística, que tiene una característica forma de S, de utilidad para representar procesos de difusión de innovaciones. (Ver, por ejemplo, Grübler, 1990)

Figura 11. Adopción de innovaciones genética en soja: eventos simples y apilados, y variedades convencionales.



Fuente: Los datos de 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2018/19 son reportados por ISAAA (2022). Las campañas restantes son estimaciones de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

La utilización de eventos apilados (RI+TH) permite seguir produciendo, haciendo frente a la creciente presión de insectos (lepidópteros). Asimismo, las semillas GM tienen impactos muy relevantes en la adopción de otro conjunto de innovaciones con gran importancia en la conservación del suelo, el uso eficiente del agua, la reducción en el uso de agroquímicos y, en consecuencia, la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Entre ellas pueden mencionarse la siembra directa, el enfoque de nutrición de los suelos en lugar de fertilización masiva y el manejo integrado de plagas.

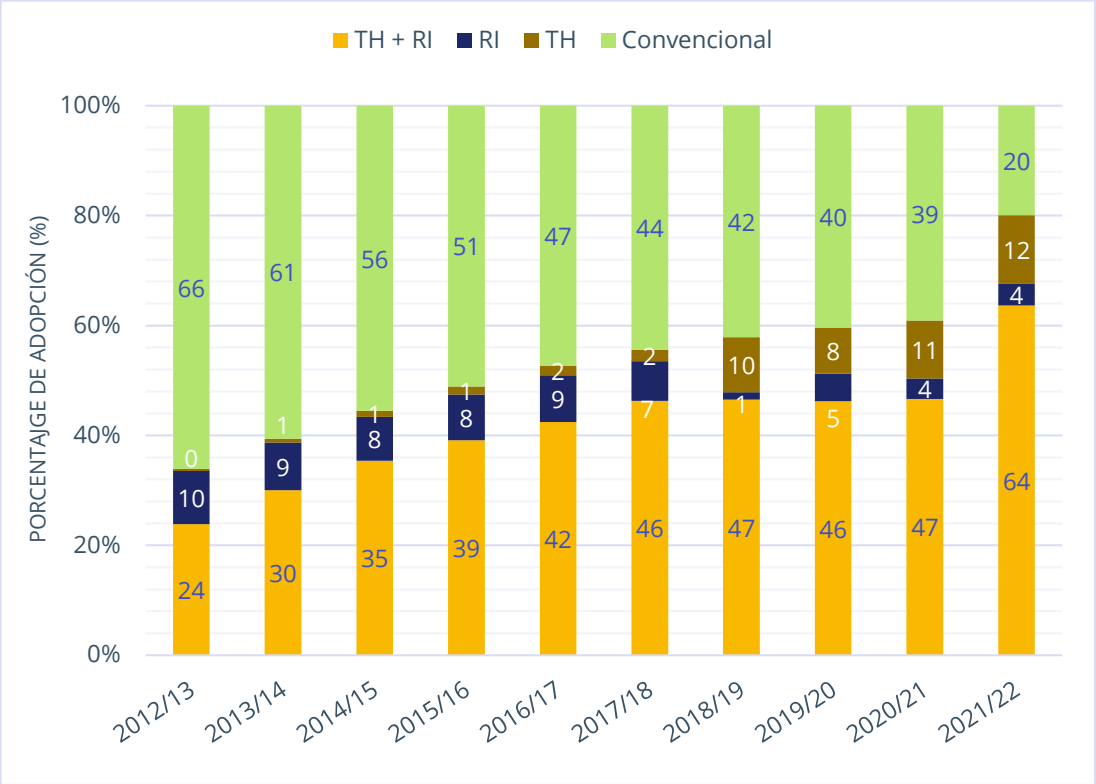
b. La tecnología aplicada en el Maíz

A lo largo de la última década se notó un fuerte cambio en la adopción de híbridos en maíz. La generación de conocimiento técnico, las innovaciones de manejo agronómico y el desarrollo de nuevos híbridos contribuyeron a una disminución del uso de eventos simples a favor de eventos apilados.

Al igual que en soja, para maíz también se realizó una estimación de las adopciones de la tecnología en semilla a partir de los datos reportados por ISAAA (2022), utilizando similar metodología. En la *Figura 12* se informan los valores reportados por ISAAA y las estimaciones hechas para el resto de los años.

En la campaña 2020/21, los eventos apilados (TH+RI) representaron el 64% del total de la superficie sembrada con maíz, mientras que los eventos simples (TH o RI) alcanzaron el 16% y la semilla convencional el 20% (ver *Figura 12).*

Figura 12. Adopción de genética en maíz: eventos simples y eventos apilados, convencional



Fuente: Los datos de 2015/16, 2016/17, 2017/18 y 2018/19 son reportados por ISAAA (2022). Las campañas restantes son estimaciones de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Los híbridos con eventos apilados se suelen adoptar en distintos niveles por región. 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.

Como se indicó para el caso de la soja GM, también en el caso de maíz la utilización de semillas GM tolerantes a herbicidas y resistentes a insectos tiene impactos muy relevantes en la conservación y el uso eficiente de los recursos naturales, así como en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero; dado que también favorece la adopción otras tecnologías de insumo y manejo agronómico, que constituyen un paquete tecnológico que no sólo mejora la productividad, sino que resulta en una mejor performance ambiental.

4. Impacto económico de la adopción de los cultivos GM

4.1. A nivel de productor

a. Antecedentes

La mayor parte de los trabajos consultados encuentra resultados económicos positivos respecto de la utilización de GM a nivel mundial, aunque los efectos varían según el cultivo y la tecnología utilizada. Pero no son muchos los trabajos que evalúan los efectos de la adopción de cultivos genéticamente modificados que estén específicamente aplicados al caso de Paraguay. Algunos de ellos, realizan supuestos simplificadores, equiparando la estructura productiva de Paraguay a la de Argentina. Este supuesto puede considerarse un poco restrictivo si se considera la alta heterogeneidad que hay en el sistema productivo de Argentina, cuyas condiciones productivas son considerablemente diferentes de las de Paraguay. Sin embargo, ante a la falta de datos y de estudios que analicen el caso particular de Paraguay, este supuesto permite hacer una aproximación del impacto, dada la importancia que ha tenido la introducción de la tecnología GM desde su aprobación para cultivos que son muy importantes para el país.

El trabajo de Brookes y Barfoot (2020) estima el impacto de los cultivos GM en Paraguay, adoptando el supuesto de asimilar los planteos productivos a los de la Argentina. En éste encuentran que entre 1996-2018 un productor de soja GM de Paraguay tuvo un margen bruto 130,9 USD/ha mayor que el que produjo una soja convencional debido, principalmente, a una reducción en los costos. Para el caso del maíz, estimaron dicho impacto en 2,9 USD/ha a favor del GM. Los autores destacan que, en general, las mejoras estuvieron asociadas a las mayores eficiencias en la estructura de costos más que en las ganancias de rendimientos.

De la revisión hecha por Bolsa de Cereales (2021) para el caso de Argentina, en donde existe un mayor número de trabajos de evaluación de impacto, se ha evidenciado que la soja resistente a herbicidas posee mejoras en los retornos económicos, en algunos casos por incrementos en los rendimientos, y en otros por disminución en los costos debido a la menor aplicación de fitosanitarios o por cambios hacia productos más económicos (Groves, 1999; Qaim y Traxler, 2003; Penna y Lema, 2002). En su propia estimación para Argentina, los autores encuentran que entre 1996 y 2020 los planteos con soja GM tuvieron un margen bruto de 29,1 USD/ha superior, en promedio, al planteo convencional, fundamentalmente debido a la mejora en la estructura de costos (Bolsa de Cereales, 2021).

De la comparación entre el maíz resistente a insectos y el convencional, la mayoría de los trabajos evidencian tanto mejoras en el rendimiento (que varía entre 5 y 26%), como reducciones en la estructura de costos, y la consiguiente mejora en los márgenes (Paredes, 2002; Brookes y Barfoot, 2020). En el estudio realizado por la Bolsa de Cereales (2021), se pudo constatar que, en promedio, los beneficios de adoptar un planteo con cultivos de maíz GM significó una mejora en los márgenes de 35 USD/ha.

Para el caso del algodón, en forma similar al maíz, hay evidencias de mejoras en los rendimientos (entre 29 y 56%), menor uso de insecticidas (entre 48 y 73% menos) y mayores márgenes (entre 16 y 88,2 USD/ha) en la comparación entre el algodón resistente a insectos y el convencional (Qaim y De Janvri, 2003; Bianconi, 2003; Finger et al., 2011). En la evaluación realizada por la Bolsa de Cereales (2021) sobre el impacto económico del algodón GM en Argentina, se ha encontrado que los planteos GM requieren menores gastos de herbicidas y otros agroquímicos, pero un alto costo en semillas, sobre todo al inicio. Sin embargo, entre 1998 y 2020 el margen bruto de los cultivos GM fue 213 USD/ha mayor que el obtenido con la semilla convencional.

b. Metodología utilizada

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 de mayores rendimientos promedio.

Con este propósito, se construyeron planteos productivos simulados para una explotación agrícola típica del país, tanto bajo el supuesto de utilización de semilla GM como para la convencional. Como ya se ha mencionado, en esta oportunidad solo se evalúan los cultivos de soja y de maíz, dado que se trata de los principales cultivos extensivos de Paraguay.

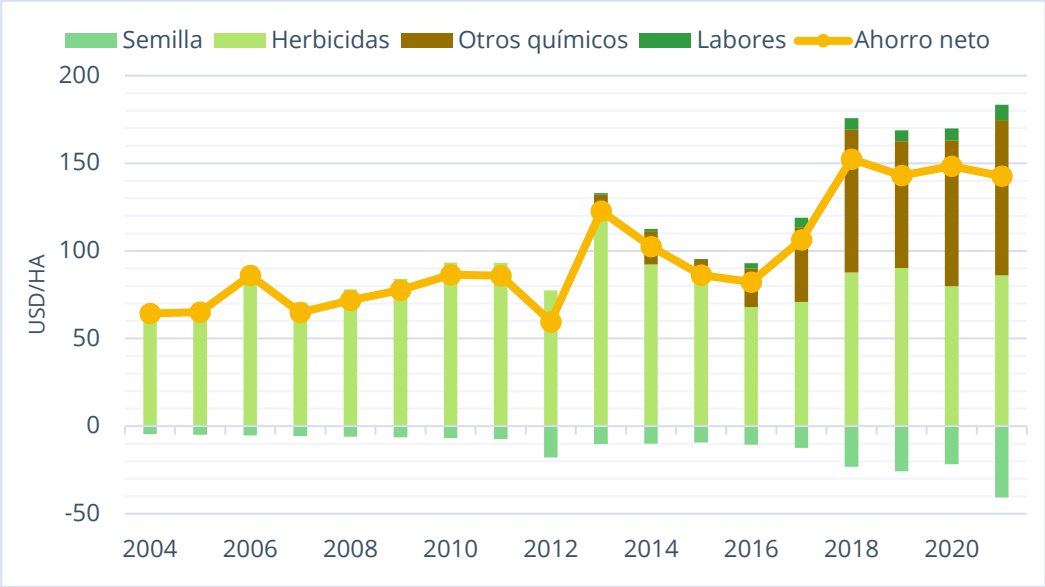
Para la construcción de los planteos productivos, se tomaron dosis promedio a nivel país para los distintos insumos, considerando la participación de las diferentes zonas agroecológicas. Para la definición de los planteos GM y convencionales, se trabajó en conjunto con referentes de empresas agrícolas, oferentes de insumos (semillas, agroquímicos, fertilizantes) y asesores técnicos del país. En este sentido, en el diseño de los planteos se consideró el criterio agronómico y la evidencia a campo revelada por los asesores. En relación con la semilla empleada, se tomó la misma genética, con la salvedad de la presencia/ausencia de los eventos biotecnológicos. Además de los modelos técnicos simulados, se estimaron los precios de los insumos y productos. A continuación, se muestran los resultados obtenidos para cada uno de los cultivos.

c. Impacto en el Cultivo de Soja

En el análisis del impacto económico de la utilización de soja GM en Paraguay se deben considerar dos momentos en la introducción de esta tecnología. El primer momento refiere a la aprobación de eventos tolerantes a herbicidas (2004), y el segundo al período donde se produjo la aprobación de eventos que agregan resistencia a plagas.

Hasta 2012 existía sólo la soja TH (tolerante a herbicidas), y a partir de 2013 la combinación TH-RI (tolerante a herbicidas y resistente a insectos). Se espera que el impacto de ambas tecnologías respecto a la convencional no sea el mismo, por lo cual se consideraron cambios en los planteos promedios, teniendo en cuenta una proporción creciente en el total sembrado con GM del uso de semillas RR2 (con los dos eventos) desde su aprobación. En la *Figura 13* pueden verse las diferencias en la estructura de costos entre la soja GM y la convencional considerando los dos períodos mencionados.

Figura 13. Ahorro neto en los costos directos por hectárea de un planteo de soja GM vs. Convencional por rubro (USD/ha.)



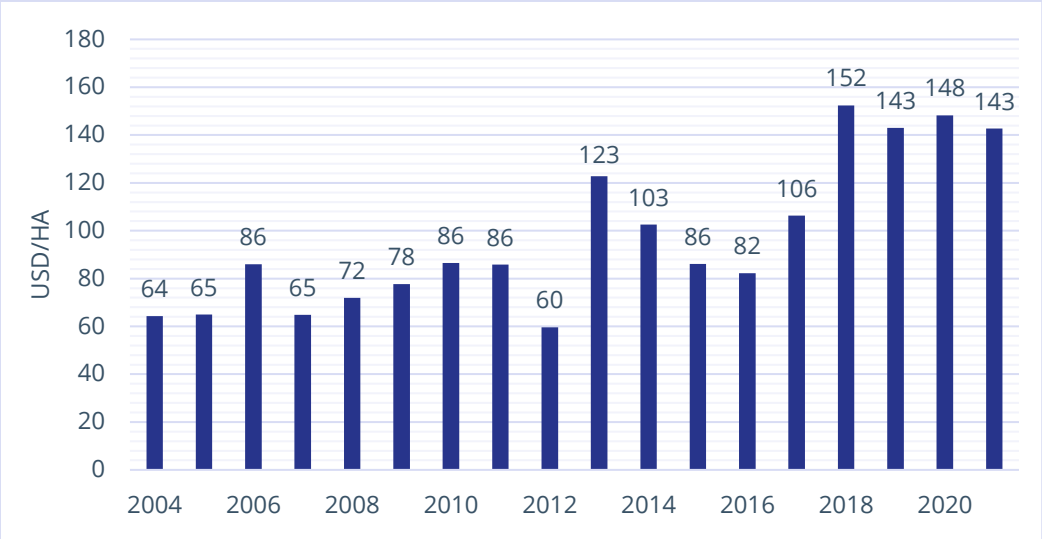
Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

En el primer período la soja tolerante a herbicidas posee menores costos en este rubro respecto de la convencional, aunque mayores costos en semillas. En relación con los gastos en otros químicos, no existen diferencias relevantes entre ambos planteos. Los menores costos en herbicidas, en general, se explican tanto por el menor precio del glifosato como también por la menor cantidad aplicada en comparación con los herbicidas utilizados en planteos convencionales[7].

Por otra parte, los menores costos en insecticidas y la menor cantidad de aplicaciones explican los menores costos en los rubros 'otros químicos' y labores para el caso de la semilla con los dos eventos. Dado el nivel de tecnología, las semillas GM poseen un precio de mercado superior a la convencional[8], por lo que los costos en este rubro son mayores en los planteos GM. En la *Figura 14* se representan los aumentos de los márgenes brutos por hectárea asociados a la utilización de la soja GM.

[7] En los planteos convencionales sólo se utiliza glifosato en la etapa de barbecho, sumando menores cantidades en total.
[8] No se realizaron supuestos por el uso de bolsa blanca ni semilla de uso propio.

Figura 14. Aumentos de los márgenes brutos por hectárea asociados a la adopción de un planteo de Soja GM (USD/ha)



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Considerando que los rendimientos son similares en ambos planteos, la baja en costos permite mejorar los márgenes brutos por hectárea significativamente (Figura 14), siendo mayores en el segundo período tecnológico. En promedio entre 2004 y 2012 los márgenes de un planteo con soja GM superaron a los de un planteo convencional en 73,5 USD/ha, mientras en el segundo período resultaron superiores en 122,5 USD/ha en promedio. Es claro que desde 2013 hay un aumento en la diferencia entre los márgenes por hectárea del planteo GM y el convencional, incrementándose esta diferencia a favor del cultivo GM.

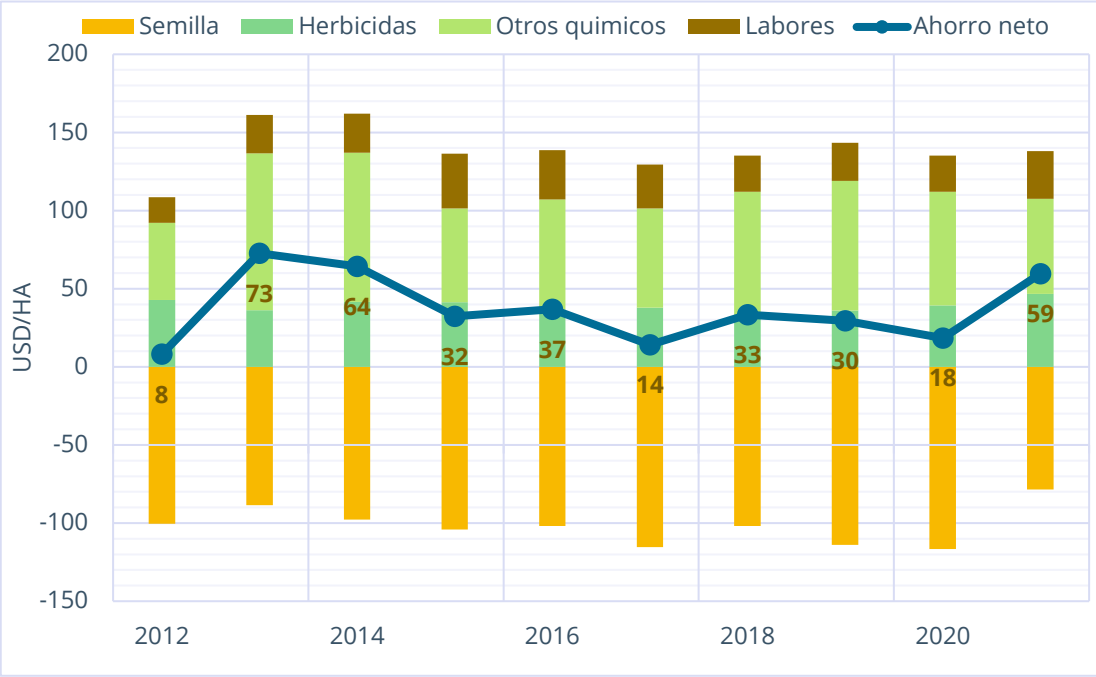
d. Impacto en el Cultivo de Maíz

Para el caso del maíz GM se considera un planteo promedio con tecnología Bt+RR (apilada) y, que la aprobación de eventos GM en Paraguay fue a partir de 2012. En el caso del maíz, en general, los gastos totales del planteo GM son menores al convencional *(Figura 15).* Estos resultados, coinciden con los de la literatura relevada y, en particular, con lo que sucede en Argentina (Bolsa de Cereales, 2021).

En general, el planteo con maíz GM presenta mayores costos en el rubro semillas y menores en los rubros herbicidas, labores y otros agroquímicos (Figura 15). Como es de esperar, el mayor gasto en semillas se explica por el mayor precio de mercado de la semilla de maíz GM sobre el híbrido convencional. Los gastos relacionados con labores y otros fitosanitarios son menores en GM, debido al menor requerimiento de aplicaciones de insecticidas y herbicidas.

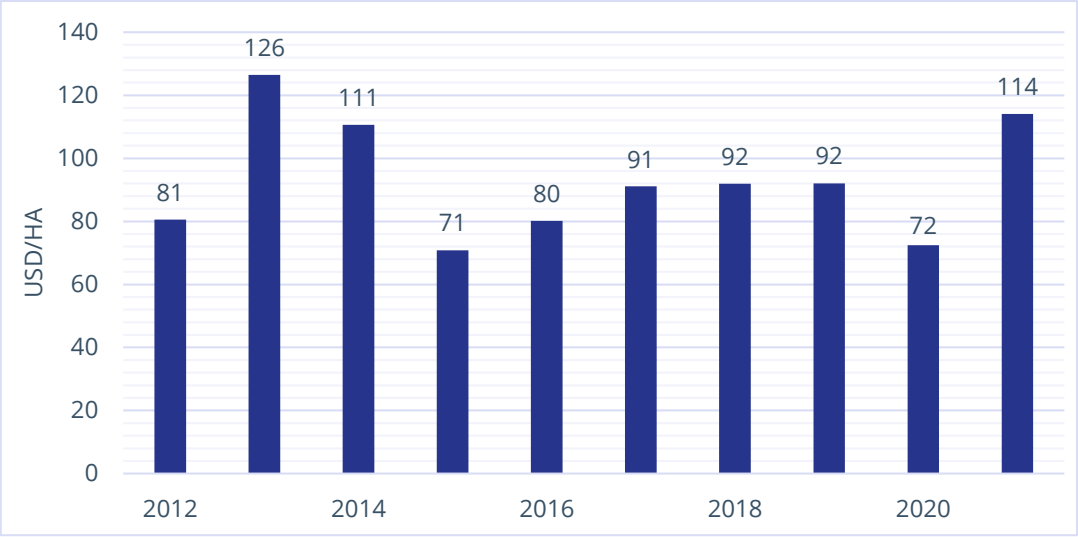
Además, existe una mejora en los rendimientos en promedio que, junto al ahorro en costos, permiten explicar que los márgenes sean mayores a los del planteo convencional. En la *Figura 16* se presenta la evolución de los beneficios de adoptar un planteo de maíz GM. En promedio, los beneficios de adoptar un planteo con cultivos GM representaron una mejora en los márgenes de 94,5 USD/ha entre 2012 y 2021.

Figura 15. Ahorro neto en los costos directos por hectárea de un planteo de maíz GM vs. Convencional por rubro (USD/ha.)



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Figura 16. Aumentos de márgenes de aplicar un planteo de Maíz GM (en USD/ha)



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

4.2. A nivel agregado

Es posible identificar diferentes mecanismos de transmisión desde los beneficios productivos de las nuevas tecnologías hacia indicadores sectoriales que son relevantes cuando se hace foco en un análisis macro.

Por ejemplo, es posible analizar (i) cómo la mejora tecnológica implica un incremento en el área sembrada, traduciéndose en mayor producción. Por otro lado, (II) la propia mejora en los márgenes se traduce en beneficios globales para el sector. O incluso (III) pueden estudiarse las interacciones con otros eslabones de las cadenas productivas, más allá de la etapa agrícola. Todos estos elementos se desarrollan en esta subsección.

a. Impacto en el área cultivada

Con el fin de analizar el impacto en área sembrada de la adopción de los cultivos GM se utilizó un enfoque contra fáctico, estimando la evolución que se hubiera observado si no se contara con material de siembra GM.

Esta estimación no está exenta de dificultades, dado que existieron múltiples canales de transmisión que mediaron entre el incremento en la tecnología de la semilla y la evolución de la producción. El primero de ellos es directo, es decir, a través de una baja en costos y/o una mejora en rendimientos promedio, traduciéndose en cambios en los márgenes esperados por el productor. Pero el resto de los canales es más difícil de medir, correspondiendo a factores como, por ejemplo, la mejor complementariedad de la semilla GM con la tecnología de la siembra directa y el manejo integrado de plagas, la inversión en infraestructura, la difusión del uso de otras tecnologías de insumos, o incluso nuevas formas de organización de la producción.

Para no obviar ninguno de estos factores, se optó por una medición indirecta, es decir, se partió de la evolución de área efectivamente observada y se descontó el rol de la evolución de los precios al productor a través de un modelo de equilibrio parcial, además de las tendencias previas al ingreso de las semillas GM. La evolución restante, por lo tanto, corresponde al uso de cultivos GM y otros cambios vinculados a la adopción de esta tecnología[9].

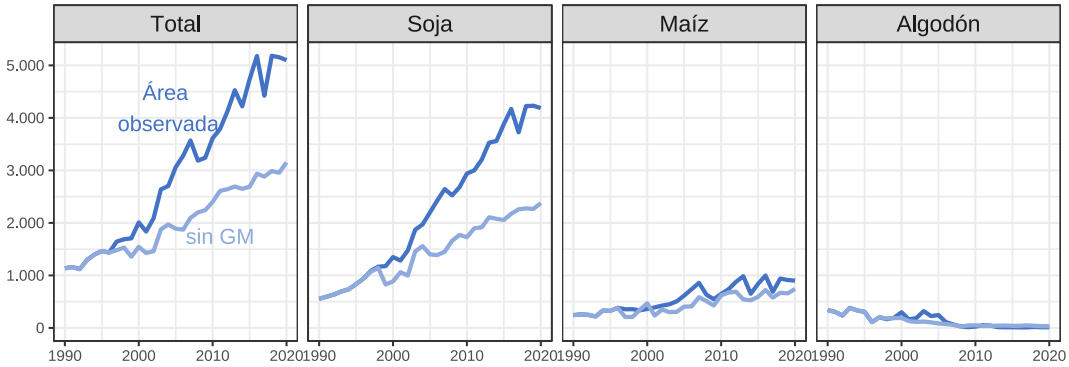
La *Figura 17* resume los principales resultados a nivel agregado, mientras que en el *Anexo I: Tablas* se muestran las estimaciones por Departamento. Se estima que desde 2004 1,4 millones de hectáreas adicionales se sembraron gracias a las semillas GM y a sus tecnologías relacionadas, un 89% de lo cual se explica por el poroto de soja. La expansión del área total superó los 2,2 millones de hectáreas, lo que incluye, además, el efecto de los precios internacionales impulsado por el gran crecimiento de la demanda por cereales y oleaginosas, producto de mejoras en el nivel de ingresos de países en desarrollo importadores de alimentos.

Para el caso del maíz, la metodología estima que la superficie sembrada podría haber sido unas 253 mil hectáreas inferiores de no ser por los cultivos GM, considerando como ejemplo

[9] Para más detalles, ver el Anexo II: Modelo de equilibrio parcial

la campaña 2019/2020, dada la afectación de la 2020/2021 por escasa disponibilidad de agua en los suelos.

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



Fuente: estimaciones de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires y datos INBIO y MAG.

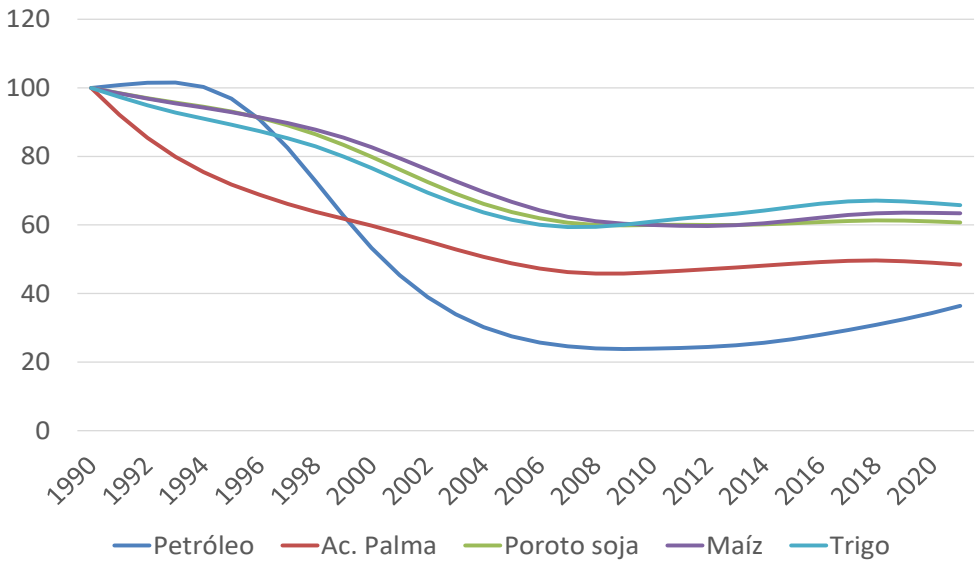
Por último, en el caso del algodón, las diferencias entre ambas series muestran una gran variabilidad debido a los cambios que tuvo el cultivo, especialmente en la primera mitad del período, debido a la tendencia a la baja en los precios que se observó para el producto en los mercados internacionales. Como se observa en la *Figura 18*, el algodón enfrentó pérdidas importantes de precios frente a los principales cultivos alternativos de Paraguay, pero también retrocedió contra otros alimentos, como el aceite de palma, o incluso el precio del petróleo, un indicador de relevancia para los costos de producción. Este tema fue objeto de una larga disputa comercial entre Brasil y EE.UU., citándose a los subsidios otorgados por este último como la principal causa de los menores precios internacionales del cultivo.[10]

Además de la evolución en el tiempo del total nacional, es interesante observar los resultados de la metodología descrita en la dimensión geográfica, al interior del país. Para el caso de la soja, en la *Figura 19* se muestra cuanto de la expansión total del área en hectáreas se explica por la incorporación de GM y sus tecnologías asociadas.

Como muestra el mapa, del cálculo se desprende que las mayores expansiones derivadas de la introducción de la tecnología GM se encuentran en los departamentos de San Pedro y Caaguazú, mientras que, en Alto Paraná, Canindeyú e Itapúa, aunque incrementaron significativamente su superficie sembrada, lo hicieron en gran medida por otros factores tales como los precios internacionales.

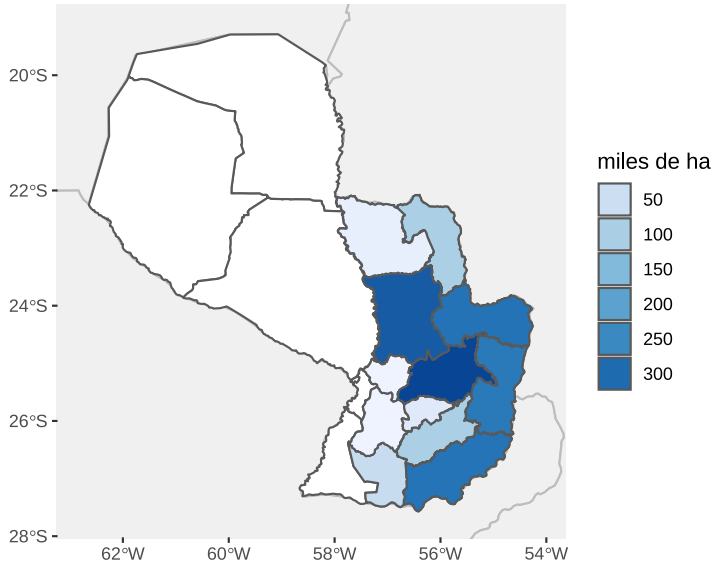
[10] Ver https://www.wto.org/english/tratop_E/dispu_e/cases_e/ds267_e.htm

Figura 18. Precio internacional del algodón con relación al petróleo y los principales commodities agrícolas. índices con base 1990=100



Series suavizadas. 1990 = 100. Elaborado a partir de datos de World Bank Commodity Price Data (The Pink Sheet).

Figura 19. Soja: Expansión de área explicada por variedades GM. 2004-2020



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Es importante destacar el rol de los pequeños agricultores en la producción agrícola de Paraguay. Respecto de la producción a pequeña escala, en 2017/18 el área sembrada con soja en fincas menores a 20 hectáreas representó el 22% del total del área sembrada, según datos de INBIO. Dicho porcentaje ascendió al 23% en 2020/21, lo que implicó un adicional de 90 mil hectáreas bajo este esquema de producción en pequeña escala, incorporando

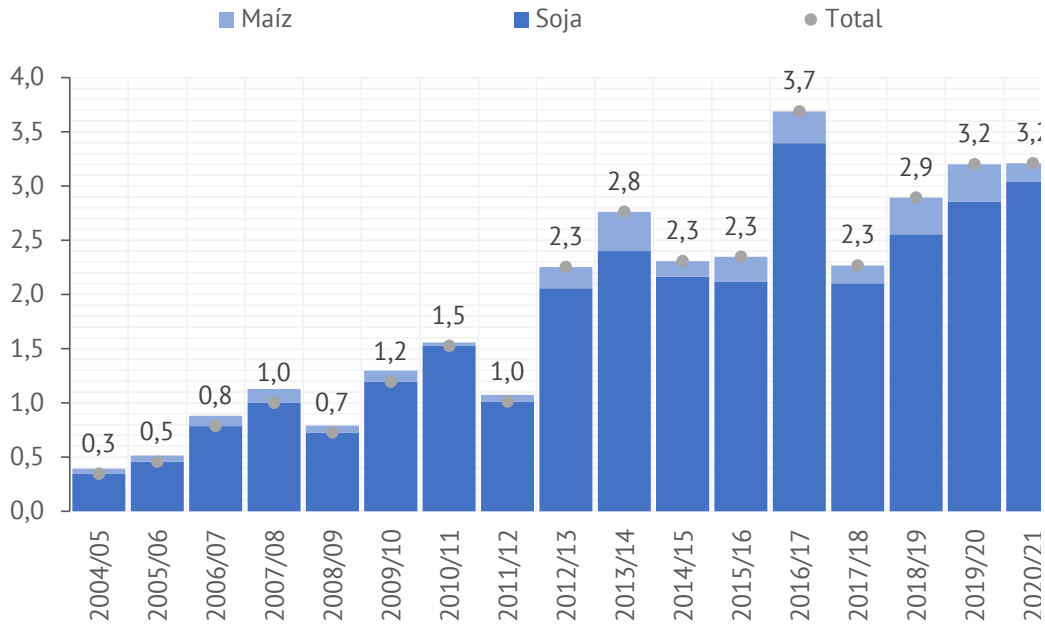
4.500 nuevas fincas. En todos los departamentos en donde se produce soja ha aumentado el área sembrada bajo esta modalidad, excepto en el departamento de Concepción. No obstante, la participación de la producción en fincas menores a 20 hectáreas también aumento en este departamento de 30 a 79%, dada una mayor caída de la superficie de soja total.

b. Impactos en la producción y en las exportaciones

Dados los efectos a nivel de explotación y los cambios en superficie descritos en las secciones anteriores, es posible desarrollar un indicador agregado que describa los beneficios totales obtenidos en términos de valor de la producción a precios FOB (Trigo, 2011).

Como se observa en la *Figura 20*, la adopción gradual de eventos GM permitió beneficios promedio de alrededor de 3.200 millones de dólares por campaña para los últimos años. Si se toman en cuenta todos los años desde la aparición de la tecnología GM en Paraguay, los beneficios suman 31.981 millones de dólares, el 91% de los cuales corresponde a la soja y el 9% al maíz.

Figura 20. Beneficios Brutos por cultivos GM. Miles de mill. de USD



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

En las Tablas A2 y A3 del Anexo 1 se incluye una descomposición de estos beneficios en sus principales componentes. En resumen, para el total del período analizado, de los 29,742 millones de dólares de beneficios por el cultivo de soja GM, el 82% corresponde al beneficio bruto por expansión de área sembrada, mientras que el 18% corresponde a las mejoras por reducción de costos de producción. Para el maíz, el 85% de los 2.239 millones de dólares de

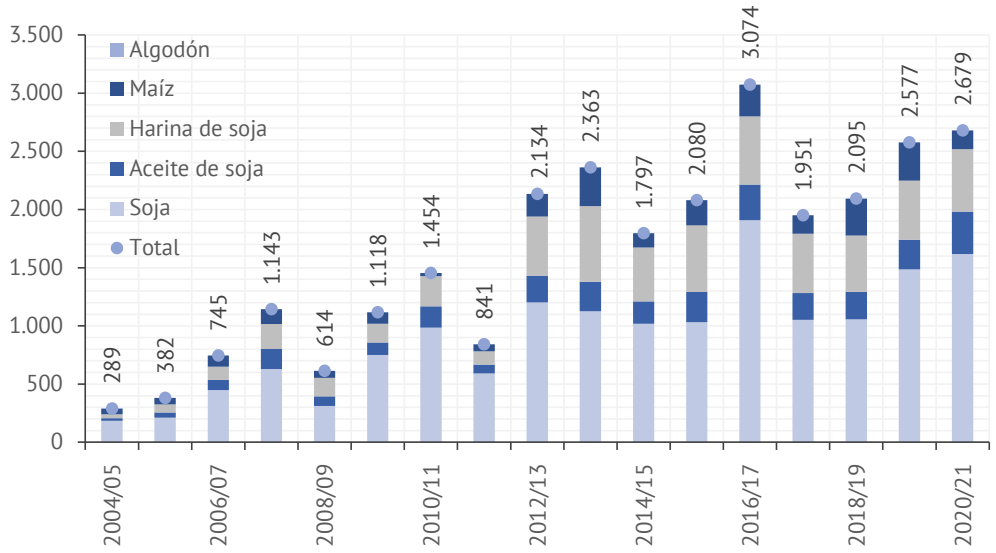
incremento corresponde a expansión de área, el 5% a reducción de costos, y el 10% a una mejora en los rendimientos promedio.

Adicionalmente, la *Figura 21* exhibe el impacto de la tecnología GM sobre las exportaciones, lográndose un aporte adicional anual de 2.475 millones de USD en promedio para las últimas 5 campañas. Es de destacar que de los 2.227 millones de dólares que corresponden al complejo soja, 1.424 millones corresponden a poroto, mientras que 803 millones son productos procesados por la industria local, bajo el supuesto de que la proporción de la producción que se destina a molienda es la misma entre escenarios con y sin GM.

c. Impactos en la cadena de producción

Para analizar los cambios en las interacciones en las cadenas de valor a partir de la tecnología GM, se efectuó una descomposición considerando los eslabones: producción primaria, industria procesadora, comercialización y transporte. Por otro lado, se estimó el impacto en la recaudación impositiva, lo que fue posible gracias a la información obtenida del informe de Centurión López (2017).

Figura 21. Impacto en las exportaciones de la tecnología GM. Mill. USD



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Se tomó como año de referencia el más reciente en el estudio, 20-21, y se compararon las cifras de los escenarios "Observado" y "Sin GM", según se describen en las secciones anteriores. La *Figura 22* muestra los resultados por etapa.

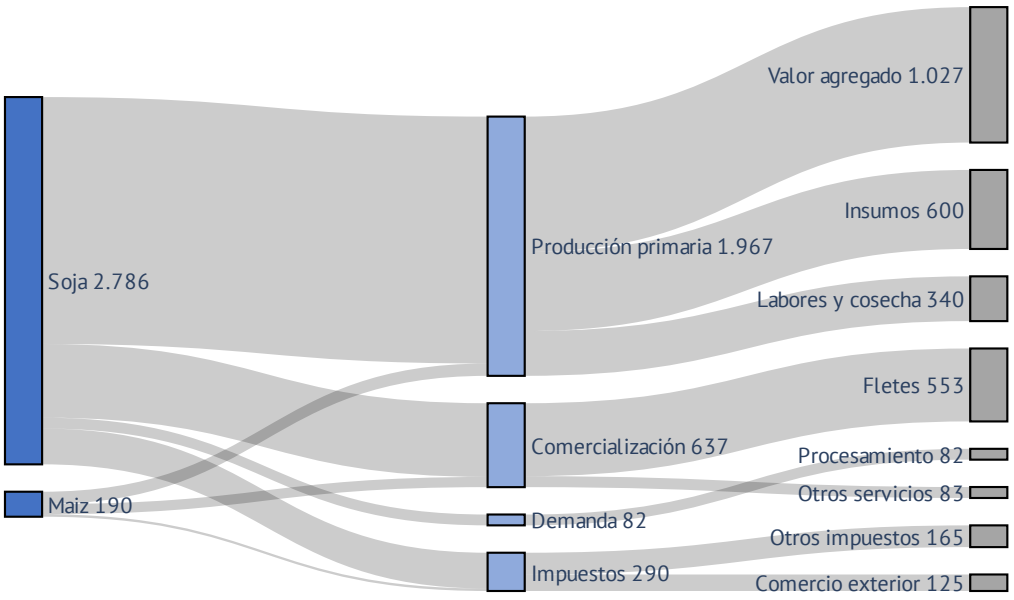
Como se puede observar, el principal incremento en el valor se encuentra en la producción primaria, con 1.967 millones de dólares adicionales durante la campaña analizada. Este total se reparte en 1.027 millones de USD de valor agregado, que corresponde a la remuneración

a la tierra, el trabajo y el capital, 600 millones de dólares a la demanda de insumos y 340 millones corresponden a los servicios de labores y cosecha.

El crecimiento para los insumos es relativamente bajo con relación al total de la producción primaria. Esto se explica por el efecto neto entre el mayor valor correspondiente a la producción de semillas GM, menos el ahorro que se produce al disminuir el requerimiento de aplicación de productos fitosanitarios, todo ello ajustado por el crecimiento de las hectáreas totales.

Por otro lado, la etapa de comercialización representa un incremento en el producto bruto de 637 millones de dólares, predominando los servicios de transporte (553 millones). Al mismo tiempo, los incrementos en recaudación fiscal totalizan 290 millones de dólares, correspondiendo 125 millones a impuestos al comercio exterior y 165 millones a impuestos a la producción agrícola, entre otros. Por último, existe un incremento de 82 millones de dólares correspondientes al incremento en el valor agregado por la industria de *crushing* de soja.

Figura 22: Descomposición del impacto de la tecnología GM en el Valor Bruto de la Producción. 2020-2021. Millones USD



Fuente: elaborado por la Bolsa de Cereales

5. Impacto ambiental

El sistema productivo agrícola de Paraguay ha evidenciado transformaciones muy relevantes desde mediados de los años 90. Uno de los acontecimientos que marcaron la segunda mitad de esa década y las dos subsiguientes ha sido la introducción de los cultivos genéticamente modificados (GM). Desde entonces, se han evidenciado cambios en el paquete tecnológico, incorporando la siembra directa y el manejo integrado de plagas. Como resultado, se

registraron modificaciones en la matriz productiva, con un incremento del área sembrada con soja y maíz, y la generación de importantes beneficios económicos: aumento del valor agregado e ingreso de divisas por mayores exportaciones. Estos cambios estructurales impactaron en todos los ámbitos que involucran las actividades productivas, y en esta sección se complementará el análisis haciendo foco en su impacto ambiental.

Si bien la introducción de cultivos GM ha ofrecido numerosas ventajas para los productores y para la economía del país, como se detalló en el capítulo previo, como contrapartida su utilización ha generado preocupaciones acerca del efecto sobre el medio ambiente y la salud, como dos ejes conectados entre sí. Diferentes fuentes indican que podrían existir potenciales efectos ambientales negativos derivados de la utilización de GM. Dentro de los posibles efectos directos, distintos autores señalan a las modificaciones en la diversidad de cultivos, en la biodiversidad de otros organismos silvestres/colaterales, así como cambios en el uso de la tierra. Por otro lado, entre los efectos indirectos se incluye a los cambios en las prácticas de labranzas y el manejo de los suelos, así como en la utilización de fertilizantes, pesticidas e insecticidas. Este último aspecto interesa particularmente a la hora de realizar una evaluación de impacto ambiental, dado que preocupan los efectos del uso de herbicidas sobre la salud, y sobre su persistencia y propagación en el medio ambiente por uso excesivo de agroquímicos o por la ausencia de buenas prácticas agropecuarias.

Basado en la revisión de artículos científicos, Carpenter (2011) analiza las evaluaciones de impacto ambiental en varios de los aspectos mencionados, y como conclusiones generales muestra que los cultivos GM no han generado una disminución en la diversidad de cultivos; y que las diferencias encontradas en los organismos del suelo se deben más a las diferencias naturales de la geografía, temperatura y variedad del cultivo/tierra que a la introducción de semillas GM. Indica, adicionalmente, que los aumentos de rindes (en promedio) descomprimen el incremento de las fronteras agrícolas; y que existe un efecto de externalidad sobre los productores que no adoptan la tecnología GM, dada por la disminución de pestes producto de la utilización de aquellos productores que, si siembran GM, generando una caída en la utilización de pesticidas en el conjunto. El autor menciona que los cambios y las presiones en malezas (tanto en composición como abundancia) se deben a las modificaciones en los regímenes de uso de herbicidas y en los sistemas de labranzas utilizados en cultivos tolerantes a herbicidas y no por el uso mismo de semillas GM.

En la subsección que sigue se analizará el impacto ambiental de los cultivos GM sobre las cantidades aplicadas de herbicidas, fungicidas e insecticidas. En este punto cabe hacer una mención: la tecnología GM disponible hoy en día no es la misma que en sus orígenes, por lo que la performance ha variado desde entonces, como también los sistemas de labranzas y de manejo de plagas que acompañan a su utilización. En general, se van mejorando las prácticas y la utilización de recursos en la medida que se gana mayor experiencia. Además, el control de malezas también ha ido variando en función de la aparición de malezas resistentes.

5.1. Impacto en el uso de agroquímicos

Para determinar el impacto de los cultivos GM en el uso agroquímicos se deben comparar las dosis aplicadas en planteos con semillas GM frente a las aplicadas en planteos de semilla convencional. Es importante tener en cuenta que sólo en los años iniciales de la tecnología en el país se pueden encontrar ambos planteos simultáneamente, ya que en la medida que fue avanzando el grado de adopción de la tecnología GM los planteos convencionales fueron desapareciendo.

Diversos trabajos realizados mostraban que, en general, en un inicio los planteos GM registraban menores dosis aplicadas de herbicidas e insecticidas y, a su vez, los insumos eran de un grado menor de toxicidad. Sin embargo, una vez que los niveles de adopción alcanzaron niveles cercanos al 100%, la comparación fáctica entre planteos GM y no GM mediante encuestas a productores se vuelve impracticable. En ese sentido, una técnica usual en la literatura[11] ha sido la de comparar planteos GM típicos con planteos convencionales elaborados a partir de la consulta a expertos.

Por otra parte, una metodología frecuentemente utilizada en la literatura[12] a la hora de analizar el impacto en el medio ambiente del uso de fitosanitarios en cada planteo y su comparación, es el cálculo del Cociente de Impacto Ambiental (EIQ[13]). 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, para hacerlos comparables entre distintos insumos.

El EIQ fue desarrollado inicialmente en Kovach (1992) y es actualizado periódicamente por la Universidad de Cornell (Eshenaur *et al*. 2020). Este indicador muestra que los insumos con mayores niveles de EIQ están asociados a mayores niveles de toxicidad. Por ejemplo, el profenofós tiene un EIQ de 50,53, mientras que el glifosato tiene un EIQ de 15,33, por lo que se aprecia la mayor toxicidad en el primer componente respecto del segundo.

Sin embargo, no es solo el EIQ de cada producto lo que importa para evaluar el impacto en el medio ambiente de la utilización de fitosanitarios, sino también los niveles de concentración del componente activo en los productos utilizados y las dosis aplicadas de éstos. Esta advertencia es importante, dado que puede suceder que se utilicen productos más tóxicos, pero que las cantidades aplicadas sean tan bajas que el total absoluto implique menor impacto ambiental.

a. El uso de agroquímicos en Soja

En las *Tablas 1* a 3 se presentan planteos típicos para soja no GM, y sojas GM RR y RR2, respectivamente. Se puede observar que la tecnología RR2 disminuye la utilización de fitosanitarios y, por tanto, tiene una reducción del 56% en el indicador de efecto ambiental

11 Ver por ejemplo Brookes y Barfoot (2020).

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

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

(EIQ). Por su parte, la soja GM RR tiene casi 5% menos de toxicidad agregada que el planteo que utiliza semillas no GM.

Comparando el planteo de semilla GM RR2 con el no GM, la semilla convencional tiene aplicaciones de ingrediente activo de 10,6 kg/ha con un valor de EIQ en campo de 347,45, mientras que los planteos con semilla GM exhiben aplicaciones de ingrediente activo de 7,7 kg/ha y con una toxicidad muy inferior, donde el valor de EIQ en campo es de 155,8, es decir 55% menor que el planteo no GM.

Comparando las dosis aplicadas actualmente (con semillas GM) 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 2020/21 sería de 10,5 millones de kg y el valor de EIQ aplicado sería inferior en 682 millones. Es decir, la existencia de semillas GM dio lugar a una reducción significativa en el uso de herbicidas e insecticidas, tanto en la cantidad de ingrediente activo liberado al ambiente como en los niveles de toxicidad de estos. En la *Tabla 4* se presenta una estimación de la evolución del ahorro en el uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas para todo el período de análisis.

Tabla 1. Planteo típico de soja convencional (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ en campo

Principio Activo	***EIQ (1)***	***Concentración del IA % (2)***	***Dosis Aplicada (3)***	***Ingrediente Activo (4)=(2)*(3)***	***EIQ en Campo (5)=(1)*(4)***
Glifosato 48%	15,33	48	7,19	3,45	52,9
2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	72	1,73	1,24	20,7
Clorimuron 25%	19,2	25	0,06	0,01	0,3
Metribuzin 48%	28,37	48	1,71	0,82	23,3
Carbendazim + Thiram	79,78	25	0,27	0,07	5,4
Cletodim 24% (graminicida)	17	24	1,45	0,35	5,9
Fomesafen 25%	24,46	25	2,30	0,58	14,1
Lambdacialotrina 20% (piretroide2)	44,17	20	0,30	0,06	2,6
Profenofós 50 % (organofosforado)	59,53	50	5,36	2,68	159,5
Thiametoxan 14,1 % + Lambdacialotrina 10,6%	77,47	24,7	1,01	0,25	19,3
Azoxis 20% + Ciproconazole 12%	64,95	32	1,00	0,32	20,78
Tebuconazole 20% (triazol)	40,33	20	0,99	0,20	8,0
Paraquat 27,6%	24,73	27,6	2,14	0,59	14,6
Total			**25,50**	**10,62**	**347,45**

Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Tabla 2. Planteo típico de soja GM RR (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ en campo

Principio Activo	***EIQ (1)***	***Concentración del IA % (2)***	***Dosis Aplicada (3)***	***Ingrediente Activo (4)=(2)*(3)***	***EIQ en Campo (5)=(1)*(4)***
Glifosato 48%	15,33	48	10,79	5,18	79,40
2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	72	1,73	1,24	20,74
Clorimuron 25%	19,2	25	0,06	0,01	0,28
Carbendazim + Thiram	79,78	25	0,27	0,07	5,42
Lambdacialotrina 20% (piretroide2)	44,17	20	0,30	0,06	2,6
Profenofós 50 % (organofosforado)	59,53	50	5,36	2,68	159,46
Thiametoxan 14,1 % + Lambdacialotrina 10,6%	77,47	24,7	1,01	0,25	19,35
Azoxis 20% + Ciproconazole 12%	64,95	32	1,00	0,32	20,78
Tebuconazole 20% (triazol)	40,33	20	0,99	0,20	8,01
Paraquat 27,6%	24,73	27,6	2,14	0,59	14,58
Total			**23,64**	**10,60**	**330,64**

Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Tabla 3. Planteo típico de soja GM RR2 (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis aplicadas, dosis de ingrediente activo, EIQ en campo

Principio Activo	***EIQ (1)***	***Concentración del IA % (2)***	***Dosis Aplicada (3)***	***Ingrediente Activo (4)=(2)*(3)***	***EIQ en Campo (5)=(1)*(4)***
Glifosato 48%	15,33	48	10,79	5,18	79,40
2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	72	1,73	1,24	20,74
Clorimuron 25%	19,2	25	0,06	0,01	0,28
Carbendazim + Thiram	79,78	25	0,27	0,07	5,42
Lambdacialotrina 20% (piretroide2)	44,17	20	0,00	0,00	0,00
Thiametoxan 14,1 % + Lambdacialotrina 10,6%	77,47	24,7	0,34	0,08	6,45
Bifentrin 10 % (piretroide)	44,35	10	0,04	0,00	0,20
Azoxis 20% + Ciproconazole 12%	64,95	32	1,00	0,32	20,78
Tebuconazole 20% (triazol)	40,33	20	0,99	0,20	8,01
Paraquat 27,6%	24,73	27,6	2,14	0,59	14,58
Total			**17,35**	**7,70**	**155,85**

Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Tabla 4. 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)*
2004/05	3.451.440	226.471.200
2005/06	5.460.400	358.292.000
2006/07	6.385.504	418.994.022
2007/08	7.259.601	476.349.145
2008/09	7.000.602	459.354.591
2009/10	7.043.518	462.170.584
2010/11	8.156.259	535.184.671
2011/12	8.499.054	557.677.672
2012/13	8.882.023	582.806.744
2013/14	9.789.682	642.364.077
2014/15	9.870.513	647.667.932
2015/16	10.883.144	714.113.126
2016/17	10.139.547	665.320.948
2017/18	11.763.151	771.856.086
2018/19	12.213.815	801.427.040
2019/20	12.231.192	802.567.230
2020/21	12.103.765	794.205.960
2021/22	10.405.776	682.789.941

Fuente: estimaciones de la BC.

b. El uso de agroquímicos en Maíz

En las *Tablas 5 y 6* se presentan los planteos representativos de maíz no GM y GM, respectivamente. Se puede apreciar que la tecnología GM es la más eficiente en la utilización de fitosanitarios. De la comparación de ambas tablas se observa que el planteo con semilla no GM registra aplicaciones de ingrediente activo por un total de 13,61 kg/ha, con un valor de toxicidad (EIQ) en campo de 289,98. Los planteos con semilla GM, por su parte, tienen aplicaciones de ingrediente activo por 7,98 kg/ha con una toxicidad inferior al convencional: el EIQ en campo es de 179,31, casi 40% menor. Es decir, que en el caso de la utilización de los cultivos GM en Paraguay, se observa que se aplica una menor cantidad de ingrediente activo con menor toxicidad en relación a los planteos productivos vinculados a la semilla convencional.

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

Principio Activo	***EIQ (1)***	***Concentración del IA % (2)***	***Dosis Aplicada (3)***	***Ingrediente Activo (4)=(2)*(3)***	***EIQ en Campo (5)=(1)*(4)***
Organofosfatado (Acefato 75 %)	24,88	75	0,65	0,49	12,21
Thiametoxan 14,1 % + Lambdacialotrina 10,6%	77,47	24,7	0,22	0,06	4,30
Glifosato 48%	15,33	48	10,79	5,18	79,40
2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	72	3,45	2,48	41,48
Atrazina 50%	22,85	50	7,84	3,92	89,57
Imidacloprid 35% (Neonicotinoide)	36,71	35	2,06	0,72	26,45
Thiametoxan 30% (neonicotinoide)	33,3	30	1,06	0,32	10,56
Bifentrin 10 % (piretroide)	44,35	10	1,18	0,12	5,22
Azoxis 20% + Ciproconazole 12%	64,95	32	1,00	0,32	20,78
Total			**28,25**	**13,61**	**289,98**

Fuente: elaboración de la BC

Comparando el escenario actual, donde la mayor parte de la superficie cultivada está relacionada con planteos GM, con un escenario hipotético, en el que la totalidad de la superficie sembrada de maíz registrase un planteo de semilla convencional, se puede afirmar que existe tanto una menor utilización de ingrediente activo aplicado (en la campaña 2020/21 sería 4.339 mil kg menor que si la utilización de semilla fuese convencional); y se ha estimado una menor toxicidad, dado que el ahorro de EIQ es 85,3 millones. Concluyendo, la existencia de semillas GM dio lugar a una reducción en el uso de herbicidas e insecticidas en cantidad de ingrediente activo liberado al ambiente, así como también mejoró los niveles de toxicidad de éstos *(ver Tabla 7).*

Tabla 6. Planteo típico de maíz GM (herbicidas, insecticidas, fungicidas y tratamiento de semillas): dosis, ingrediente activo, EIQ y EIQ en campo

Principio Activo	***EIQ (1)***	***Concentración del IA % (2)***	***Dosis Aplicada (3)***	***Ingrediente Activo (4)=(2)*(3)***	***EIQ en Campo (5)=(1)*(4)***
Organofosfatado (Acefato 75 %)	24,88	75	0,65	0,49	**12,21**
Thiametoxan 14,1 % + Lambdacialotrina 10,6%	77,47	24,7	0,22	0,06	**4,30**
Glifosato 48%	15,33	48	5,40	2,59	**39,70**
2,4-D Dichlorophenoxyacetic ácido	16,7	72	1,73	1,24	**20,74**
Atrazina 50%	22,85	50	5,60	2,80	**63,98**
Imidacloprid 35% (Neonicotinoide)	36,71	35	0,86	0,30	**11,02**
Thiametoxan 30% (neonicotinoide)	33,3	30	0,44	0,13	**4,40**
Bifentrin 10 % (piretroide)	44,35	10	0,49	0,05	**2,17**
Azoxis 20% + Ciproconazole 12%	64,95	32	1,00	0,32	**20,78**
Total			**16,39**	**7,98**	**179,31**

Fuente: elaboración de la BC

Tabla 7. Reducción del uso de herbicidas, insecticidas y fungicidas en maíz 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)*
2012/13	1.674.966	32.925.122
2013/14	2.184.189	42.935.032
2014/15	1.627.683	31.995.678
2015/16	2.310.515	45.418.239
2016/17	2.955.424	58.095.345
2017/18	2.152.230	42.306.808
2018/19	3.061.866	60.187.691
2019/20	3.061.072	60.172.088
2020/21	3.087.719	60.695.888
2021/22	4.339.807	85.308.420

Fuente: estimación de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

5.2. Impacto en el manejo y conservación del agua y del suelo

Uno de los principales beneficios de la adopción de cultivos GM desde sus inicios es que facilitó la adopción de la siembra directa (SD). Si bien se trata de una tecnología que ya era utilizada parcialmente desde los años '70 en Paraguay, a partir de la introducción de cultivos GM ganó terreno rápidamente y fue una solución efectiva al problema de la erosión de los suelos y permitió un uso mucho más eficiente del agua de lluvia *(ver Figura 23).*

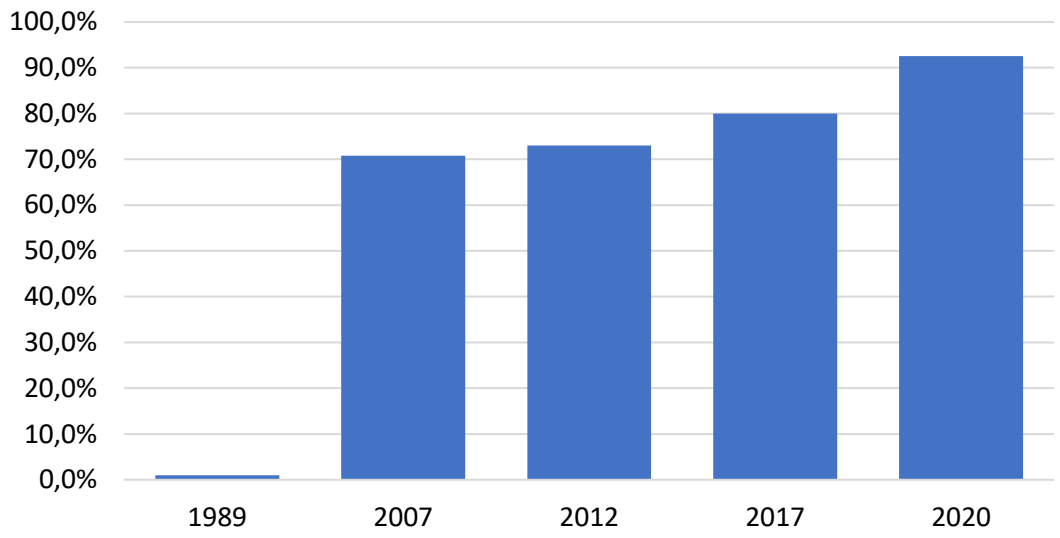
Entre los beneficios más destacados de esta práctica agronómica se encuentran:

- Mejora el aprovechamiento del agua de lluvia.
- 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.
- Amplía la posibilidad de elección de fechas de siembra.
- Permite sembrar donde arar no era posible por falta de agua.
- Prolonga el ciclo agrícola.
- Otorga mayor estabilidad en los rendimientos.
- Extiende la vida útil del tractor (reducción de uso del 66%) y reduce la inversión en otros equipos de cultivo.
- Ahorra el uso de combustible y emisiones contaminantes.
- Aumenta significativamente las hectáreas trabajadas por persona.

Como referencia puede señalarse que, para un proceso similar de adopción de la siembra directa en Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) de Argentina indicó que en 2011 la siembra directa conllevó un 40% menos en el consumo de combustible respecto a la labranza tradicional y permitió obtener entre 25 y 40% más de rendimiento de los cultivos a iguales precipitaciones, permitiendo una mayor estabilidad de los rendimientos a través de los años.

Los sistemas de producción con siembra directa y cultivos GM muestran que es posible lograr a la vez eficiencia productiva y rentabilidad, cuidando los recursos naturales y el ambiente. Al respecto, cabe destacar que los sistemas de producción de Paraguay y los países del MERCOSUR se destacan a nivel global por su sostenibilidad y productividad, tal como fue reconocido en la Cumbre sobre los Sistemas Alimentarios organizada por la Organización de las Naciones Unidas en 2021.

Figura 23. Adopción de la siembra directa en Paraguay



Fuentes: ISAAA (2017,2018); Villalba (2014) y declaraciones del Presidente de la Federación Paraguaya de Siembra Directa.

5.3. Impacto en las emisiones de dióxido de carbono

En relación específica a sus efectos ambientales, la siembra directa genera beneficios en al menos dos frentes: por un lado, reduce las emisiones de gases de efecto invernadero por menor cantidad de aplicaciones y menor uso de combustible en las labranzas, y por otro lado, facilita la absorción de carbono orgánico en el suelo. Cabe aclarar que la siembra directa no es de uso exclusivo de los cultivos GM, aunque su utilización masiva estuvo facilitada e incentivada por éstos.

Para la metodología de estimación del impacto en las emisiones de dióxido de carbono se efectuó una revisión bibliográfica para obtener los coeficientes de ahorro en combustible y absorción de carbono orgánico mediante el uso del sistema de labranza con siembra directa

en comparación con el sistema de labranza convencional. Pero, dado que en esta subsección se pretende estimar solo los efectos atribuibles a la utilización de semilla GM en los tres cultivos con eventos aprobados, estos efectos se aplicaron solo a las hectáreas estimadas que utilizaron semilla GM a lo largo del período (y no a la totalidad del área con siembra directa).

Respecto a la proporción de área bajo el sistema de labranza de siembra directa, se utiliza información reportada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería, así como por el ISAAA, y otras fuentes (por ejemplo, Villalba, s.d; Rossello, 2009). En la *Figura 23* se indicaron los porcentajes de adopción de siembra directa estimados para Paraguay.

Como se expresó, si bien incluso a inicio de los años 90 la siembra directa ya era parte del sistema de labranza, la implementación no era masiva.[14] Esto se vincula principalmente a la remoción mecánica de malezas resistentes como alternativa de control, y a su vez al incremento en el precio de los insumos. Otro factor que explica los cambios en la adopción de la siembra directa está relacionado al reacondicionamiento de lotes (por ejemplo, para eliminar huellas luego de una cosecha bajo excesos hídricos).

a. Reducción de emisiones por menor uso de combustible

Hay distintos trabajos que, en mayor o menor detalle, estiman el ahorro de combustible de los sistemas de SD con relación a labranzas reducidas o convencionales. Por ejemplo, el trabajo de West y Marland (2002) expone los requisitos de energía de combustibles fósiles y las emisiones de dióxido de carbono provenientes del uso de la maquinaria agrícola para diferentes sistemas de labranza aplicados en EE. UU., tomando como año de referencia a 1997. Como resultado obtiene que los sistemas de SD implican 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 8. Ahorro de emisiones de dióxido de carbono del sistema de SD versus el convencional

Cultivo	*West & Marland (2002)*	*Brookes & Barfoot (2020)*	*Promedio*
Soja	44,2	72,4	58,3
Maíz	48,8	65,2	57,0

Fuente: adaptación de West & Marland (2002) y de Brookes & Barfoot (2020).

En un trabajo más reciente, Brookes y Barfoot (2020) estimaron el ahorro de emisión de dióxido de carbono del sistema de siembra directa versus el convencional para diferentes países entre 1996-2018, período en que se afianzó la utilización de los cultivos GM y permitió

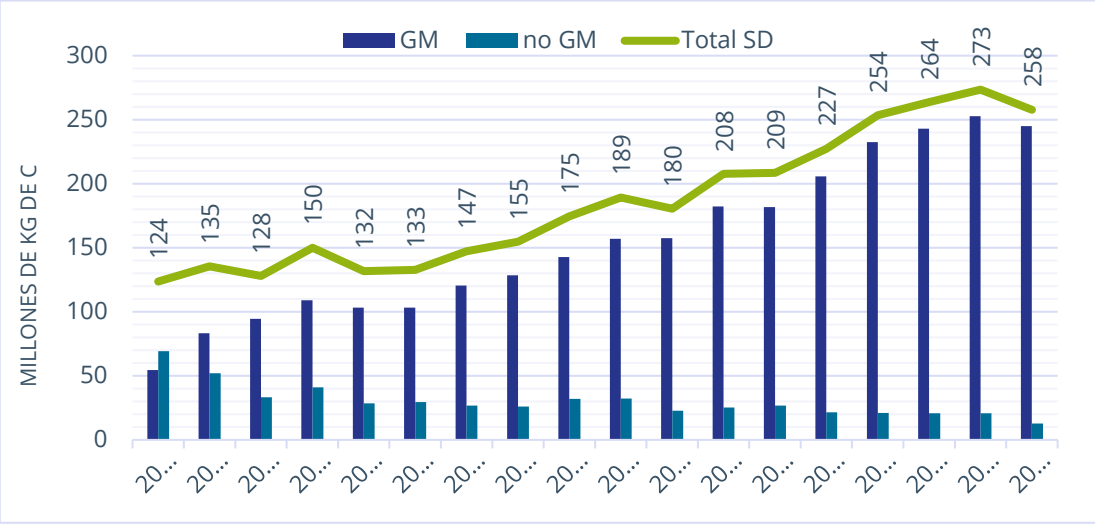
[14] https://www.abc.com.py/nacionales/2021/10/27/la-siembra-directa-con-calidad-es-una-urgente-necesidad/

las mejoras en los sistemas de labranza. En sus estimaciones utilizaron coeficientes de consumo de combustibles un poco más elevados que West y Marland (2002), obtenidos de una revisión bibliográfica sobre aplicaciones en EE.UU., entre ellas el *Conservation Effects Assessment Project* (CEAP), el *Conservation Tillage and Plant Biotechnology* (CITIC), el *USDA Energy Estimator* y el *USDA Comet- VR Model*. En la *Tabla 8* se resumen los coeficientes de ambas bibliografías.

Para el presente trabajo, se utilizaron los coeficientes promedios para estimar el ahorro de emisiones de dióxido de carbono de la siembra directa con relación al sistema de labranza convencional; para, luego, dividirlo entre aquellas hectáreas que han utilizado GM versus las que no usaron esas semillas. Asimismo, se utilizaron estimaciones de adopción de SD para los períodos en los que no se cuenta con información. Las mismas surgen de utilizar una función logística para la modelización y suavización de las transiciones entre períodos con datos. Los resultados de ahorro total de emisiones de dióxido de carbono por SD se muestran en la *Figura 24*[15].

Considerando los cultivos GM, en Paraguay las emisiones de dióxido de carbono en los cultivos de soja, maíz y algodón serían superiores en más de 200 millones de kg por año si no se hubiese adoptado SD, es decir que la reducción equivale al consumo anual de combustible de 133 mil autos[16]. En el acumulado del período 2004-2021, si no se hubiera adoptado la siembra directa en los cultivos GM, se hubieran volcado al ambiente más de 2,8 mil millones de kg de carbono, equivalente al consumo de combustible anual de aproximadamente 1,9 millones de autos particulares.

Figura 24. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible para el 2004-2022 (mill. de kg de C) en Paraguay



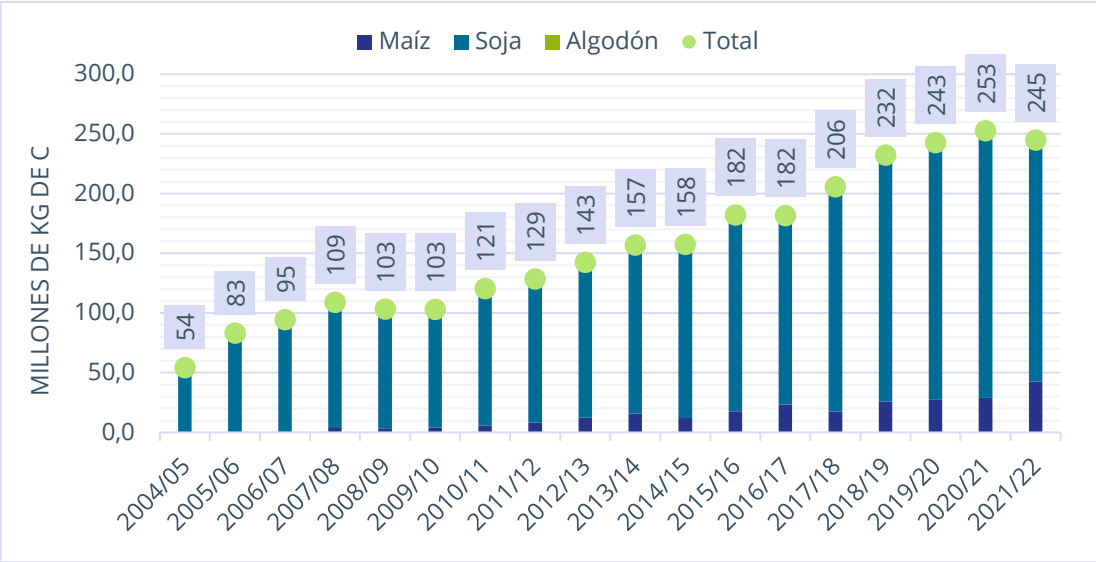
Fuente: elaboración Bolsa de Cereales de Buenos Aires en base a coeficientes de ahorro de combustibles promedios entre West y Marland (2002) y, Brookes y Barfoot (2020).

[15] Para ver los datos completos de la figura, ver Tabla A4

[16] Un auto familiar produce en promedio 123,4 gramos de dióxido de carbono por km, a razón de 12.231 km/año, la producción anual promedio sería de 1.509 kg de dióxido de carbono/año (Brookes & Barfoot, 2020).

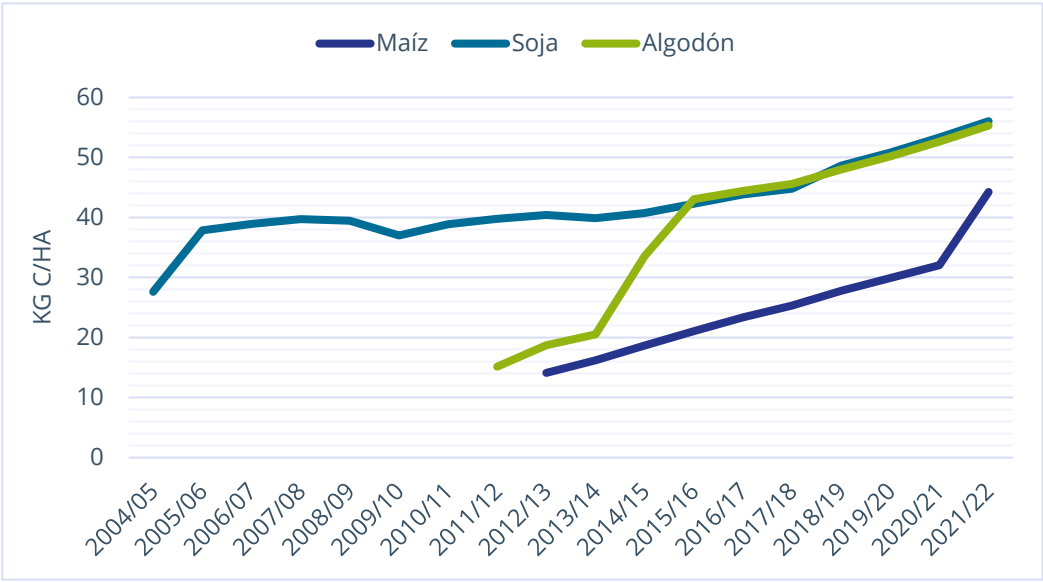
Analizando por cultivo GM la soja es, por lejos, el cultivo que más aporta a la reducción de emisiones totales, dada la importancia relativa en términos de hectáreas sembradas que ha ido ganando a lo largo del período *(Figura 25).*

Figura 25 Reducción de las emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible en cultivos GM 2004-2021 (millones de kg)



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

Figura 26. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible por cultivos GM 2004-2021 (kg C/ha)



Fuente: estimaciones de la Bolsa de Cereales

Además, la *Figura 26* muestra la evolución, la menor emisión de dióxido de carbono a lo largo del período, diferenciado por tipo de cultivo. La importancia relativa mayor de los cultivos GM redunda en una mayor participación en el ahorro de emisiones de carbono totales. Del total de dióxido de carbono ahorrado por la utilización de siembra directa, el 70% se puede atribuir a la utilización de semilla GM.

Si se observa el ahorro de C en términos relativos, en la *Figura 26* muestra que, por hectárea, el cultivo de soja GM tuvo un ahorro de C del orden de 40 kg de C/ha/año en promedio hasta 2013 debido tanto al incremento en la adopción de SD como de semillas GM. Es decir, que un lote de 100 ha de soja GM entre 2004 y 2013 permitió un ahorro de emisiones de dióxido de carbono equivalente a 2,6 veces el consumo de un automóvil. Luego de 2013, los tres cultivos incrementaron la tasa de ahorro de emisiones de C por hectárea. En 2021, el maíz GM permitió un ahorro de 44 kg de C/ha, la soja GM 56 kg de C/ha y el algodón 55 kg de C/ha.

b. Reducción de emisiones por secuestro de carbono

Las producciones agropecuarias son actividades económicas que contribuyen a la generación de gases de efecto invernadero (GEI), siendo las principales fuentes el dióxido de carbono (CO2), el metano (CH4) y el óxido nitroso (N2O). Específicamente en la agricultura, las actividades que generan este tipo de gases están relacionadas con la producción de fertilizantes nitrogenados, el uso de combustibles fósiles para el manejo de los suelos (como carbón, gasolina, diésel y gas natural) y, también, la gestión de los residuos. Por tanto, el manejo de los suelos es una parte fundamental de las emisiones agrícolas, por lo que una mejora en dicha gestión puede reducir estas emisiones y secuestrar parte del CO2 liberado a la atmósfera (Paustian *et al*., 2016).

El secuestro de CO2 consiste en el proceso por el cual el dióxido de carbono es removido de la atmósfera y convertido en carbono orgánico mediante el proceso de la fotosíntesis. A medida que el carbono orgánico se degrada, se vuelve a convertir en dióxido de carbono mediante el proceso de respiración. Pero el carbono orgánico del suelo, además, juega un papel fundamental en la determinación y el mantenimiento de importantes condiciones físicas y funciones del suelo; así como también en la estructura de éste 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. Es por ello que, para medir la calidad de los suelos, uno de los indicadores a observar es, justamente, el nivel de carbono orgánico en ellos a distintas profundidades.

En este sentido, la siembra directa, los cultivos de cobertura y la rotación de cultivos pueden aumentar significativamente la cantidad de carbono almacenado en los suelos y, por consiguiente, reducir las emisiones al medio ambiente. Por tanto, las prácticas de manejo son la clave de la gestión sustentable de los suelos, como también pueden ser un instrumento en la mitigación del cambio climático.

Pero la capacidad del suelo de secuestrar carbono depende, en gran medida, del tipo de suelo, de los cultivos y sus rotaciones, de las características ecológicas de la región, de la

profundidad de la labranza, así como del sistema, propiamente dicho. En este sentido, West y Post (2002) analizaron las tasas de secuestro de carbono para diferentes sistemas de labranzas y rotaciones a nivel global. En general encontraron que, en promedio, el secuestro de carbono de la SD es 0,416 tn/ha/año mayor que el sistema convencional, y que la tasa de secuestro llega a su pico a entre los 5 y 10 años y luego decrece.

Álvarez et al. (2014), por su parte, realizaron un experimento durante 15 años en la Pampa Argentina para evaluar el impacto de tres sistemas de siembra sobre el stock de Carbono Orgánico Total (COT) en el suelo (siembra directa, siembra directa con cultivo de cobertura en invierno y siembra convencional) y dos secuencias de cultivos (soja-maíz y monocultivo de soja), concluyendo que ambos factores (sistema de labranza y secuencia de cultivo) afectan significativamente 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. Por otra parte, las rotaciones soja-maíz acumulaban 133 kg/ha más que el monocultivo de soja. Para una profundidad de 0 a 30 cm, sus resultados indicaron que los sistemas de siembra directa registran 267 kg/ha más que el sistema de siembra convencional.

En la evaluación del secuestro de CO2 realizado por Brookes y Barfoot (2020), indicaron que en Argentina y Brasil la retención de carbono/ha/año para el sistema de SD es de 175 kg en el cultivo de soja, mientras que en el sistema convencional es de 25 kg para el mismo cultivo. Es decir que la siembra directa genera un secuestro de 150 kg de C/ha mayor que la siembra convencional. En EE.UU. el secuestro de carbono en un sistema de SD continuo es de 250 kg de C/ha/año más que un sistema convencional de labranza en el cultivo de maíz (con rotación de soja), mientras que en soja (con rotación de maíz) es de 100 kg de C/ha/año. Los autores destacan que una condición importante para mantener esos niveles de secuestro es la continuidad del sistema de labranza, dado que, de alternarse sistemas, parte del carbono orgánico secuestrado podría ser perdido.

En la bibliografía mencionada se ha encontrado una relativa alta variabilidad en las tasas de captura de carbono en los suelos con los sistemas de siembra directa: las mismas oscilan entre 0,04 y 0,55 tn de C/ha/año respecto a la captura en un sistema tradicional (Álvarez et al, 2014; Franzleubbers, 2010; Powlson et al., 2011; Smith et al, 2001; 2008; Steinbach & Álvarez, 2006; VanderBygaart et al, 2008, entre otros).

En base a los resultados de estos trabajos y considerando que no existe un estudio específico para Paraguay, se asume que el uso de siembra directa, cuya difusión se vio facilitada por los cultivos GM, tiene un impacto de 0,27 tn/ha por año de acumulación de carbono en el suelo, utilizando el mismo impacto para todos los cultivos17. En la *Figura 27* se puede ver la evolución del secuestro de carbono estimada para Paraguay teniendo en cuenta los porcentajes de adopción de siembra directa y los porcentajes de adopción de cultivos GM (ambos estimados).

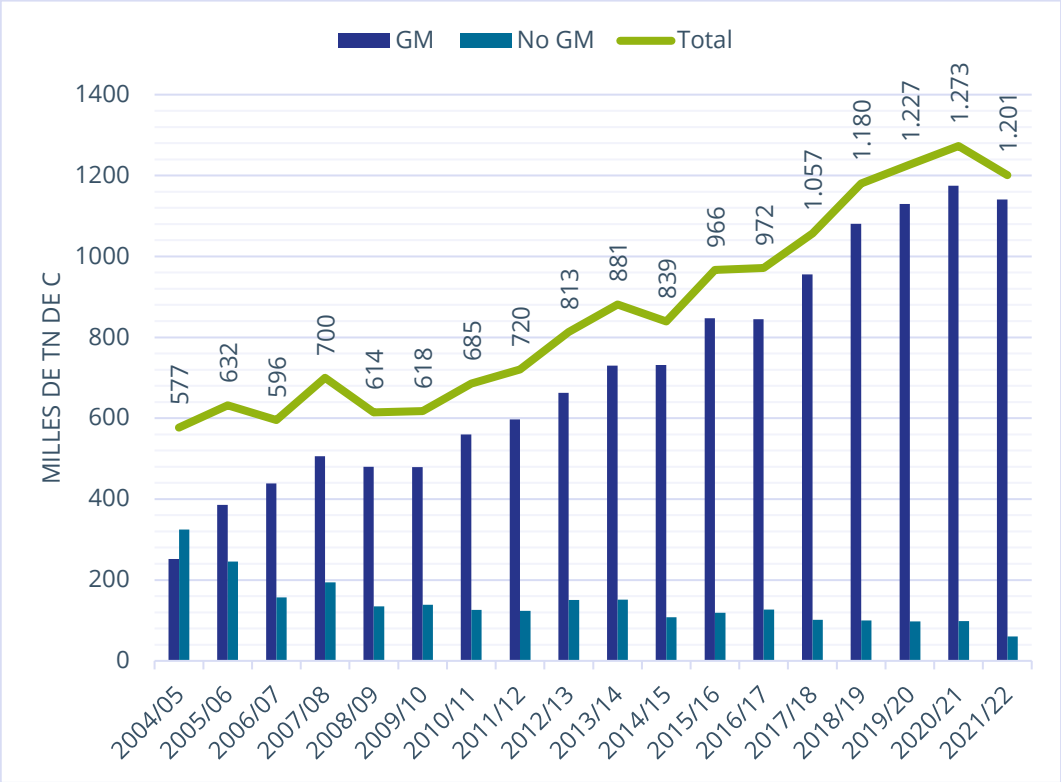
Por tanto, considerando la superficie sembrada con siembra directa, el incremento del carbono en el suelo asciende a 1.201 miles de toneladas para la campaña 2021/2022; y en

[17] Podría considerarse un diferencial positivo para maíz, pero para no introducir mayor ruido se asume igual impacto para los tres cultivos, donde el impacto total esté influenciado por la participación en área.

el acumulado de las últimas 25 campañas, el aumento de carbono en el suelo totaliza 18.738 miles de toneladas (ver Anexo Tabla A5).

Además, es posible visualizar la importancia que fueron ganando los cultivos GM. A partir de 2005 la contribución de los cultivos GM superó a la de los tradicionales en el secuestro de carbono estimado. La mayor participación en el secuestro de carbono la tiene el cultivo de la Soja. Entre 2016 y 2020 contribuyó con el 87% del secuestro de carbono de los cultivos GM, en promedio (Ver Anexo I).

Figura 27. Reducción de las emisiones de dióxido de carbono en Paraguay por secuestro de carbono en GM 2004-2021 (kg C/ha)



Fuente: elaboración de la Bolsa de Cereales de Buenos Aires.

6. El paquete tecnológico actual. Fortalezas y temas críticos a tener en cuenta para la sostenibilidad de los desarrollos.

Como se mencionó previamente, la introducción de los cultivos GM en la agricultura de Paraguay trajo múltiples beneficios desde el punto de vista ambiental y económico. Ha permitido consolidar un proceso de crecimiento notable de la agricultura extensiva de Paraguay, con un sistema de producción sostenible y amigable con el ambiente, en forma similar a lo acontecido en Argentina y Brasil.

Al respecto, debe notarse que, en la reciente Cumbre de Sistemas Alimentarios, organizada por la Organización de las Naciones Unidas en 2021, se pudo sostener que los sistemas productivos del Cono Sur han evolucionado de manera positiva hacia esquemas de intensificación sostenible desde hace más de dos décadas, a diferencia de los correspondientes a la Unión Europea y los principales países de Asia (que deben redefinir sus estrategias productivas hacia esquemas más verdes).

Es importante destacar que la región cuenta con un importante potencial de crecimiento de la producción de alimentos con sistemas sostenibles, lo que le permitirá jugar un papel estratégico en la seguridad alimentaria global de las próximas décadas. Se trata de una fortaleza relevante de Paraguay, compartida con sus socios del MERCOSUR. El rol de las innovaciones será crucial para tal propósito.

Con el objetivo de profundizar el aprovechamiento y extender la vida útil de las tecnologías desarrolladas, se deben tener en cuenta también diferentes aspectos críticos. En primer lugar, es necesario cerrar las brechas de rendimiento existentes actualmente, entendiéndose a las mismas como la diferencia entre el rendimiento actual y el alcanzable mediante buenas prácticas agropecuarias, incorporando las innovaciones disponibles (70-80% del rendimiento potencial); para ello un aspecto a tener en cuenta cuidadosamente es el balance de nutrientes. El mismo está relacionado con las rotaciones, los cultivos de cobertura y el nivel de utilización de fertilizantes para el uso sustentable del recurso suelo. Se debe tener en cuenta la disponibilidad de nutrientes en el suelo y los requerimientos de los cultivos, a los efectos de asegurar que los balances sean neutros y no impliquen pérdidas de fertilidad.

Al respecto, es importante diferenciar los nutrientes según sus características; el nitrógeno es un elemento móvil, y por lo tanto, el aporte se debe pensar en función del requerimiento nutricional anual del cultivo que se sembrará. En cambio, el fósforo y el azufre son elementos poco móviles, con lo cual la estrategia en la fertilización debe buscar balances neutros a largo plazo. Las rotaciones y la utilización masiva de cultivos de cobertura pueden jugar un papel complementario fundamental para la sostenibilidad de los suelos; es decir, avanzar hacia enfoques integrados de la nutrición de los suelos.

Otro aspecto crítico a tener en cuenta es la creciente evidencia de la presencia de malezas resistentes al herbicida glifosato (que ha jugado un rol fundamental en los desarrollos de los últimos 25 años). La presencia de malezas resistentes es un problema estratégico, que ya se está reflejando en la necesidad de un mayor número de aplicaciones y formulaciones de mayor concentración en todos los países de la región. Es un problema que hay que manejarlo desde un punto de vista holístico. En la actualidad existen varias prácticas de manejo que cooperan con el control basado en los agroquímicos; por ejemplo, la utilización de cultivos de servicio, la rotación de cultivos y la alternancia de los modos de acción de los herbicidas, entre otros.

Asimismo, otro aspecto crítico son los programas de manejo de la resistencia a insectos, cuyo propósito es retrasar la evolución de la resistencia a insectos de las tecnologías Bt. Dichos programas integran diversas prácticas, entre las que se contemplan la rotación de cultivos, el buen control de las malezas y el tratamiento del rastrojo, la buena implantación del cultivo, el monitoreo periódico de plagas y la siembra de refugios. Para la mayoría de las tecnologías Bt la siembra de refugio es fundamental: un refugio es una pequeña porción del

lote, sembrada con el cultivo no Bt de similar ciclo de madurez que la del cultivo Bt. Esta área es una reserva de insectos susceptibles y sirve para disminuir la probabilidad de que insectos resistentes al cultivo Bt se apareen entre sí y generen una descendencia resistente.

Debe notarse que las tecnologías para el control de insectos (Bt) están enfrentando desafíos no menores, como es el caso de la pérdida de eficacia en el control de insectos de los cultivos Bt por las resistencias que se van generando. Esto se debe, entre otros aspectos, a los bajos niveles de cumplimiento de los requerimientos de refugio, bastante distantes de lo recomendable para asegurar el pleno aprovechamiento del potencial de este tipo de tecnologías. En el caso de Paraguay el tema de los refugios es algo que quedó en manos de las empresas proveedoras de las semillas; por ello cabe sugerir que dichos actores asignen una alta prioridad a este aspecto.

En síntesis, puede señalarse que varias de las tecnologías actualmente disponibles adquieren un valor estratégico para prolongar la vida útil de las innovaciones que trasciende el beneficio económico, ya que son clave para garantizar el crecimiento y la sostenibilidad de la producción agrícola extensiva en Paraguay. Y es aún más importante destacar la relevancia de la tecnología también para los pequeños agricultores, quienes han mantenido su participación adicionando hectáreas sembradas de soja bajo esta modalidad. En este sentido, el rol de los OGM y la siembra directa, así como del completo paquete tecnológico, es clave para todos los tamaños de productores[18]. Los pequeños productores, que en un principio podrían mostrar cierto escepticismo, pueden hoy apreciar los beneficios asociados a mejoras en el cuidado del suelo, menores costos y mayores rendimientos asociados al paquete tecnológico que integra los OGM y la siembra directa y, con ello, aprovechar mejoras en los márgenes. Al respecto, resulta aún más vigente el aporte de distintas instituciones, tanto del sector público como privado, en cuanto a la capacitación de los productores en el correcto aprovechamiento de estas técnicas y tecnologías.

7. Desafíos para continuar aprovechando los beneficios de la tecnología.

Como se destacó en los Capítulos 4, 5 y 6 la introducción de los cultivos GM en la agricultura de Paraguay tuvo impactos sanitarios, económicos y ambientales muy positivos y contribuyó a consolidar un proceso de incorporación gradual de un conjunto de innovaciones que incluyen las buenas prácticas de manejo de los suelos y el agua, así como los avances en el control biológico de las malezas y plagas, que implicaron reducciones en el nivel de utilización de agroquímicos -con beneficios en materia sanitaria y reducciones en las emisiones de gases de efecto invernadero-, contribuyendo a que la producción agrícola extensiva del país se destaque a nivel global por su crecimiento, sostenibilidad y relativamente bajos impactos ambientales.

Las sinergias entre los cultivos GM, la siembra directa y otras innovaciones asociadas, así como políticas macroeconómicas y fiscales estables que incentivaron las inversiones y las

[18] Dado que la adopción de la soja GM se estima en el 99% de los productores, se puede concluir que los pequeños productores también la adoptaron masivamente.

exportaciones, fueron determinantes para que el proceso de transformación y expansión de la agricultura paraguaya tuviese la profundidad y significación que ha tenido en estas últimas dos décadas y media, contribuyendo a que el país se constituya en un actor relevante en la producción mundial de granos, especialmente del complejo sojero y la ganadería vacuna. El conjunto de innovaciones incorporadas durante dicho período jugó un papel clave, en particular carácter estratégico de los OGM, pero no cabe duda que el marco de incentivos macroeconómicos y fiscales han sido y serán también aspectos críticos para dar continuidad a dicho proceso: el marco de incentivos a las innovaciones y el contexto de políticas macroeconómicas para promover su adopción serán aspectos estratégicos a tener en cuenta.

Los beneficios económicos y ambientales han sido el centro del análisis de este informe; sin embargo, las trasformaciones mencionadas, facilitadas por la masiva adopción de los cultivos GM, han impulsado otros beneficios que deben ser tenidos en cuenta. Uno de ellos es la incorporación del Paraguay como un actor de significación en el comercio mundial de soja, en un momento en el cual los mercados internacionales se caracterizaron por su renovado dinamismo y relevancia, con precios de exportación muy favorables. En el presente Siglo la evolución de la oferta y demanda mundial de alimentos y sus perspectivas para las próximas décadas han jerarquizado la importancia de la seguridad alimentaria global; y Paraguay ya está emergiendo como uno de los países con interesante potencial para atender a las futuras demandas internacionales de soja, granos forrajeros y carnes. Por ello, la continuidad de los procesos de incorporación de nuevos desarrollos biotecnológicos, nanotecnológicos y otras tecnologías de información y comunicación tiene una alta prioridad para el país.

El escenario internacional es dinámico y ofrece buenas oportunidades para el crecimiento económico de Paraguay a partir de la expansión de la producción agroindustrial y de los nuevos desarrollos bioeconómicos asociados a la misma; pero debe notarse que las exigencias crecientes de los principales mercados en materia de sanidad, calidad y en las cuestiones del cambio climático destacan la necesidad de continuar implementando esquemas sistémicos de intensificación sostenible, perfeccionando a los que se han venido incorporando con los GM, la siembra directa y otras buenas prácticas agrícolas. Para ello tiene alta prioridad contar con estructuras institucionales y marcos normativos que permitan promover las innovaciones y al mismo tiempo garantizar a los consumidores los aspectos de bioseguridad, sanidad y huellas ambientales que emergen como nuevas y mayores exigencias para el futuro del comercio mundial.

Al respecto debe notarse que Paraguay cuenta con dos fortalezas relevantes: a) con un marco normativo desarrollado en materia de biotecnología y bioseguridad (al que se hizo mención en el Capítulo 3) y con la Comisión Nacional de Bioseguridad Agropecuaria y Forestal (RESOLUCIÓN 9.699/12), que es la comisión asesora a la máxima autoridad del Ministerio de Agricultura y Ganadería que tiene por objetivo atender, analizar y recomendar en todo lo referente a la introducción, ensayos de campo, liberación pre-comercial, liberación comercial y otros usos propuestos de los Organismos Genéticamente Modificados (OGMs), en la que participan los principales actores interesados del sector público del país (Agricultura, Industria y Comercio, Salud, Ambiente, la Universidad y diversos institutos especializados)[19]. Las garantías y certificaciones en materia de bioseguridad constituyen

[19] Para mayores detalles ver https://www.inbio.org.py/biotecnologia/marco-regulatorio/.

aspectos de importancia creciente para el escenario internacional; b) la creación de INBIO: el Instituto de Biotecnología Agrícola que tiene el propósito de promover un adecuado acceso al país de los productos derivados de la biotecnología agropecuaria y la incorporación ordenada de los mismos a la producción nacional; así como la promoción y desarrollo de la investigación de biotecnología nacional[20]. El INBIO ha tenido un rol muy relevante para asegurar el respeto de la propiedad intelectual de los eventos, lo que ha permitido que se incorporen en el país los nuevos desarrollos de los principales cultivos. Asimismo, hace aportes relevantes al proceso de I+D local, aspecto crítico para el futuro desarrollo de la biotecnología.

Los temas vinculados a la propiedad intelectual y las regulaciones de bioseguridad afectan directamente la disponibilidad de las tecnologías en el mercado local. En cuanto a los temas regulatorios, la seguridad respecto de la posibilidad efectiva de proteger las tecnologías por parte de los proveedores de las mismas ha sido y continúa siendo un factor clave para facilitar las condiciones de acceso a un espectro amplio de tecnologías para enfrentar. Por ejemplo, el creciente problema de las malezas resistentes y los impactos negativos de las variaciones climáticas. El rol positivo de las actividades realizadas por INBIO se considera de gran importancia para que los productores tengan a su disposición más opciones tecnológicas que Argentina[21] para enfrentar los problemas mencionados, especialmente en el caso de la soja.

Pensando en el futuro, la importancia de asegurar el acceso a las innovaciones parece más relevante aun, especialmente porque se puede anticipar que el cambio climático tenderá a agravar los problemas que se presentan hasta ahora. En este sentido, se espera un incremento en los avances de nuevas malezas y plagas, así como cambios más rápidos en las ya existentes, las que a su vez requerirán estratégicas tecnológicas más complejas. 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, las rotaciones, la incorporación de cultivos de cobertura y en general las buenas prácticas agrícolas.

Mas allá de estos aspectos, está el tema de la renovación de las tecnologías existentes y el posicionamiento de Paraguay en el nuevo ciclo tecnológico implícito con la irrupción de las nuevas técnicas biotecnológicas, tales como la edición génica, así como las innovaciones para el procesamiento de la biomasa para el agregado de valor con bioproductos y bioinsumos. 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, especialmente teniendo en cuenta que los desarrollos en el caso de las nuevas técnicas biotecnológicas (NBTs) y sus costos de su desregulación son sustancialmente menores a los correspondientes a los cultivos GM y por lo tanto más accesibles para instituciones y empresas de I+D de menores tamaños que las grandes firmas multinacionales. En este

[20] Para mayores detalles ver Anexo A1.

[21] País en el que hay cuestionamientos de la industria semillera a la legislación de semillas vigente y el control efectivo de la propiedad intelectual.

sentido se considera importante destacar que el país cuenta con un marco regulatorio para las NBTs.

Por otra parte, el aumento significativo de la producción de soja y maíz ha sido un factor determinante para el desarrollo de la industria de los biocombustibles, que no sólo implica el agregado de valor local a la producción de biomasa, sino que también constituye una de las plataformas de base para 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"[22]. En efecto, el aumento de la materia prima disponible (biomasa) impulsó un ciclo adicional de inversiones, con significativos impactos en términos de agregación de valor, generación de empleos y desarrollo territorial. Estos desarrollos están dando lugar a la diversificación productiva con otros bienes, tales como los bioinsumos y los bioproductos, en un ciclo que expande y potencia los beneficios que se han discutido en este informe.

Todos estos argumentos sugieren que se hace imprescindible enfrentar la discusión sobre cómo mantener y expandir la vigencia de los activos tecnológicos actualmente en el mercado (sobre los que se fundamentan los logros hasta ahora), aprovechando la revisión de las experiencias acumuladas en estos 25 años. Esto es crucial para asegurar que el país pueda continuar siendo un adoptante dinámico en los nuevos ciclos tecnológicos que comienzan a delinearse, particularmente con los aspectos de la bioeconomía, que pueden ser estratégicos en los escenarios internacionales que ya se insinúan, a partir de las discusiones mantenidas en el marco de la Cumbre Mundial sobre los Sistemas Alimentarios de las Naciones Unidas y la Conferencia de la ONU sobre el Cambio Climático (COP26).

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 indica que todavía hay un importante potencial de rendimientos por aprovechar en las actuales propuestas tecnológicas para los tres cultivos principales: las actividades a promover desde INBIO y otras instituciones públicas y privadas del sector pueden contribuir a cerrar las actuales brechas de productividad respecto de los rendimientos potenciales. Por otra parte, es necesario incorporar las nuevas dimensiones que se generan a partir del concepto del aumento de la producción sostenible y del procesamiento de las distintas fuentes de biomasa; es decir, un enfoque más abarcativo que va desde las innovaciones para la producción primaria hasta la correspondiente a los procesos de agregado de valor de estos bienes.

Finalmente, cabe tener en cuenta la necesidad de integrar los aspectos de la política nacional con las políticas referidas a las negociaciones comerciales internacionales. Aquí también, en las etapas iniciales del ciclo mencionado, esto era un problema de baja intensidad, ya que las tecnologías ya estaban aprobadas para importación y consumo en los principales mercados cuando fueron introducidas en Paraguay. 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, en particular por los intereses de la Unión Europea y sus políticas verdes, que pretenden imponer al contexto mundial en los principales foros internacionales y en sus exigencias comerciales (*EU Green Deal*). Es por eso que una clara y efectiva integración de las políticas de desarrollo tecnológico con la

[22] Global Bioeconomy Summit (2020).

diplomacia comercial, pasa a ser un elemento central en la definición de hacia dónde ir. El rol de la cooperación con los países del MERCOSUR y del Grupo de Cairns para estas negociaciones se considera de gran importancia estratégica.

Referencias

APROSEMP (2015), Estudio de la Participación Económica del Sector Semillero en Paraguay, Asunción

Brescia y Lema (2007), Supply Elasticities for Selected Commodities In Mercosur And Bolivia. EC Project EUMercoPol

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).

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.

Centurión López, A (2017)., Estimación del aporte tributario del sector agrícola y la cadena productiva, UGP, Asunción

Carpenter, J. E. (2011). Impact of GM crops on biodiversity. GM crops, 2(1), 7-23.

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.

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.

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.

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

Grübler, Arnulf (1990). The Rise and Fall of Infrastructures: Dynamics of Evolution and Technological Change in Transport. Heidelberg and New York: Physica-Verlag.

INBIO – UGP (2011) "Un recorrido por la agricultura y su gente en Paraguay – Tierra y conocimiento"

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.

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.

Ortiz Trepowski, E., Riquelme Martínez C. (2016) "Paraguay, Potencia Agroindustrial para Alimentar al Mundo", Instituto Paraguayo de Investigaciones Económicas.

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.

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.

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

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., 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.

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.

Vázquez, F. (2011) Atlas Agropecuario y Forestal de Paraguay, Unión de Gremios de la Producción

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.

Anexo I: Tablas

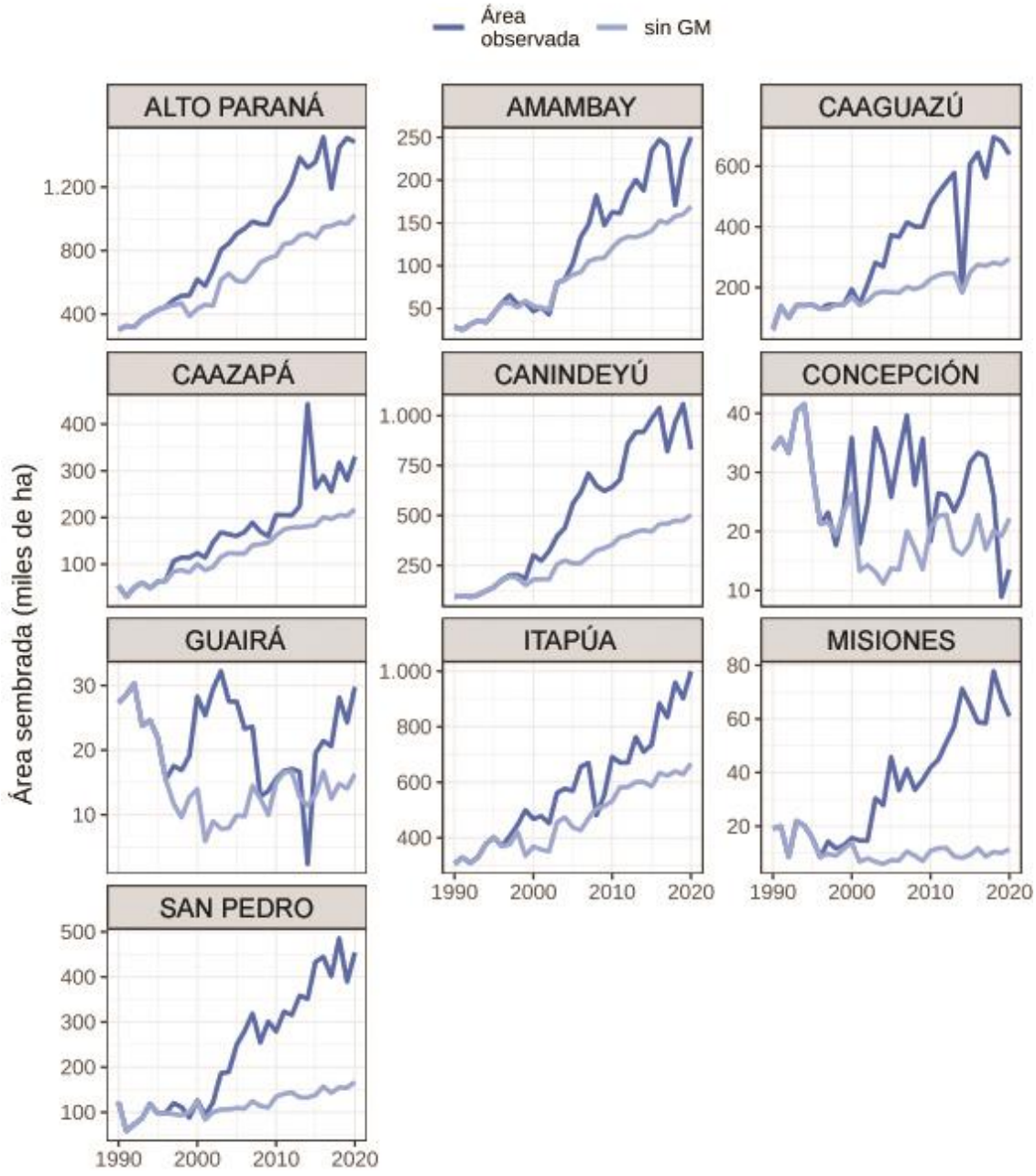
Tabla A1. Eventos GM autorizados para siembra, consumo y comercialización en Paraguay

	Especie	*Característica Introducida*	*Evento*	*Solicitante*	*Año*
1	Soja	Tolerancia al herbicida glifosato.	MON40-3-2	Monsanto	2004
2	Algodón	Resistencia a lepidópteros.	MON531	Monsanto	2011
3	Maíz	Resistencia a lepidópteros.	MON810	Monsanto	2012
4	Maíz	Resistencia a lepidópteros y coleópteros; Tolerancia al herbicida glifosato.	MON89034 x MON88017	Monsanto	2012
5	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio.	TC1507	Dow Agrosciencies	2012
6	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio.	BT11	Syngenta	2012
7	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio	TC1507	Agrotec	2012
8	Maíz	Resistencia a lepidópteros.	MON89034*	Monsanto	2013
9	Algodón	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glifosato.	MON531 x MON1445	Monsanto	2013
10	Algodón	Tolerancia al herbicida glifosato.	MON1445	Monsanto	2013
11	Soja	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glifosato.	MON87701 x MON89788	Monsanto	2013
12	Maíz	Tolerancia al herbicida glifosato.	NK603	Monsanto	2014
13	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato.	MON89034 x TC1507 x NK603	Dow Agrosciencies	2014
14	Maíz	Resistencia a lepidópteros	MIR162	Syngenta	2014
15	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio.	MIR162 x BT11	Syngenta	2014
16	Soja	Tolerancia al herbicida Imidazolinona.	CV127	Basf	2014
17	Maíz	Protección a ciertos lepìdópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato.	MIR162 x BT11 x GA21	Syngenta	2015
18	Maíz	Tolerancia al herbicida glifosato	GA21	Syngenta	2015
19	Maíz	Protección al ataque de ciertos lepidópteros; Tolerancia al herbicida glifosato	MIR162 x GA21	Syngenta	2015
20	Maíz	Protección a ciertos lepìdópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato.	BT11 x GA21	Syngenta	2015
21	Maíz	Protección a ciertos lepidópteros; Tolerancia al herbicida glufosinato de amonio.	MON810 x TC1507	Agrotec	2015
22	Maíz	Protección a ciertos lepidópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato.	MON810 x TC1507 x NK603	Agrotec	2015
23	Maíz	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato.	MON89034 x TC1507 x NK603 x MIR162	Dow Agrosciencies	2017
24	Maíz	Protección a ciertos lepidópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato	TC1507 x MON810 x MIR162 x NK603	Agar Cros	2017
25	Maíz	Protección a ciertos lepidópteros; Tolerancia a los herbicidas glufosinato de amonio y glifosato	Todas las combinaciones posibles de TC1507 x MON810 x MIR162 x NK603	Agar Cros	2017
26	Algodón	Resistencia a lepidópteros; Tolerancia al herbicida glifosato.	MON15985 x MON 88913	Monsanto	2017
27	Algodón	Resistencia a lepidópteros.	MON15985	Monsanto	2018
28	Algodón	Tolerancia al herbicida glifosato.	MON88913	Monsanto	2018

29	Maíz	Tolerancia a insectos - Tolerancia a Herbicida (glifosato y glufosinato de amonio)	BT11 x MIR162 x MON 89034 x GA21	Syngenta Paraguay SA	2019
30	Maíz	Tolerancia a insectos	MZHG0JG	Syngenta Paraguay SA	2019
31	Maíz	Tolerancia a Herbicida (glufosinato de amonio, 2,4 D, haloxifop) – Tolerancia a insectos	Acumulado: MON-89034-3 x DAS-01507-1 x MON-00603-6 X DAS-40278-9 y MON 00603-6 x DAS-01507-1 Individual: DAS-40278-9	DOW Agrosciences Py.	2019
32	Maíz	Tolerancia a Herbicida (Glifosato) Tolerancia a insectos (Lepidopteros y Coleopteros)	Acumulado: MON 87427 x MON89034 x MIR162 x NK603 Individual: MON 87424	MONSANTO PY S.A.	2019
33	Maíz	Tolerancia a Herbicida (glufosinato de amonio, glifosato y dicamba) Tolerancia a insectos	Acumulado: MON 87427 x MON89034 x MIR 162 x MON87411 Individual: MON 87427 y MON 87411	MONSANTO PY S.A.	2019
34	Soja	Tolerancia a Herbicida (glifosato e isoxaflutole)	Acumulado: FG72 X A5547-127 Individual: FG72 y A5547	BASF Paraguaya S.A.	2019
35	Soja	Tolerancia a Herbicida Tolerante a sequía	Acumulado: IND-00410-5 x MON-04032-6 Individual: IND-00410-5	INDEAR	2019
36	Soja	Tolerancia a Herbicida	Individual: SYHTOH2	SYNGENTA PY S.A. Y BASF PY S.A.	2019
37	Soja	Tolerancia a Herbicida (glufosinato de amonio, 2,4 D, haloxifop)	Acumulado: DAS-81419-2 x DAS-44406-6 Individual: DAS 81419-2 Y DAS-44406-6	DOW Agrosciences Py. S.A.	2019
38	Soja	Tolerancia a Herbicida (dicamba y glifosato)	Acumulado: MON 87708 x MON89788 Individual: MON87708	MONSANTO PY S.A.	2019
39	Soja	Tolerancia a insectos Tolerancia a Herbicida (glifosato y dicamba)	Acumulado: MON 87751 x MON 87701 x MON 87708 x MON89788 Individual: MON 87751 y MON 87708	MONSANTO PY S.A.	2019
40	Algodón	Tolerancia a Herbicida (glifosato y glufosinato de amonio)	Individual: GHB11	BASF Paraguaya S.A.	2019
41	Maíz	Tolerancia a herbicida glufosinato de amonio	T25	BASF Paraguaya S.A.	2021
42	Maíz	Resistencia a insectos (lepidópteros) Tolerancia a Herbicida (glifosato, glufosinato, 2,4 D)	MON89034 x TC1507 x MIR162 x NK603 x DAS-40278-9	DOW Agrosciences Py. S.A.	2022
43	Soja	Resistencia a Nemátodos Tolerancia a Isoxaflutole	GMB151	BASF Agricultural Solutions US LLC	2022
44	Maíz	Tolerancia a Herbicida	NK603 x T25 x DAS-40278 y las combinaciones intermedias	DOW Agrosciences Py. S.A.	2022
45	Maíz	Resistencia a Insectos	MON 95379	MONSANTO PY S.A.	2022
46	Maíz	Resistencia a Coleoptera Resistencia a Lepidoptera Tolerancia a Herbicida (Glufosinato y Glifosato)	3272xBt11xMIR162xGA21 y 3272 y las combinaciones intermedias	SYNGENTA PARAGUAY S.A.	2022

Fuente: MAG, División de Bioseguridad Agrícola

Figura A1: Evolución por departamento del área sembrada real y del área sembrada en un escenario sin introducción de tecnología GM, Años 1990-2020 (miles de hectáreas)



Fuente: estimaciones de la Bolsa de Cereales y datos INBIO.

Tabla A2: Beneficios brutos de la adopción de soja GM

	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
Campaña	(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3)-(4)	(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*
2004/05	322	60%	2,0	1,6	0,4	269	64	76	2,0	2,0	2,0	0	*345*
2005/06	243	85%	2,2	1,4	0,8	336	65	121	1,7	1,7	1,7	0	*458*
2006/07	229	90%	2,4	1,4	1,0	598	86	188	2,5	2,5	2,5	0	*786*
2007/08	275	94%	2,6	1,5	1,2	839	65	161	2,6	2,6	2,6	0	*1.000*
2008/09	427	95%	2,5	1,7	0,9	554	72	172	1,5	1,5	1,5	0	*726*
2009/10	397	90%	2,7	1,8	0,9	1.009	78	187	2,8	2,8	2,8	0	*1.196*
2010/11	358	95%	2,9	1,7	1,2	1.285	86	242	3,0	3,0	3,0	0	*1.526*
2011/12	464	97%	3,0	1,9	1,1	761	86	250	1,5	1,5	1,5	0	*1.011*
2012/13	495	95%	3,2	1,9	1,3	1.877	60	181	2,9	2,9	2,9	0	*2.058*
2013/14	491	95%	3,5	2,1	1,4	1.988	123	412	2,9	2,9	2,9	0	*2.400*
2014/15	491	95%	3,6	2,1	1,5	1.819	103	347	2,5	2,5	2,5	0	*2.166*
2015/16	362	96%	3,9	2,1	1,8	1.797	86	321	2,7	2,7	2,7	0	*2.118*
2016/17	495	96%	4,2	2,2	2,0	3.066	82	331	3,1	3,1	3,1	0	*3.397*
2017/18	373	96%	3,7	2,3	1,5	1.723	106	381	3,1	3,1	3,1	0	*2.103*
2018/19	412	99%	4,2	2,3	1,9	1.919	152	637	2,4	2,4	2,4	0	*2.556*
2019/20	378	99%	4,2	2,3	2,0	2.257	143	599	3,0	3,0	3,0	0	*2.856*
2020/21	463	99%	4,2	2,4	1,8	2.425	148	615	2,9	2,9	2,9	0	*3.040*
Beneficios Totales 2004-2021	***24.521***		***5.221***				***0***	***29.742***					

Fuente: elaborado por la Bolsa de Cereales en base a datos de INBIO, MAG e informantes calificados.

Tabla A3: Beneficios brutos de la adopción de maíz GM

	FOB	***Adopción GM***	***Superficie real***	***Superficie escenario sin GM***	***Diferencia área***	***Beneficio bruto área***	***Cambio costos***	***Beneficio bruto costos***	***Rinde medio***	***Rinde no GM***	***Rinde GM***	***Beneficio bruto rinde***	***Beneficio bruto total***
Campaña	(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	USD/ha	M U$S	tn/ha	tn/ha	tn/ha	M U$S	M U$S
2012/13	238	34%	0,9	0,7	0,2	173	8	2	4,0	3,9	4,2	20	196
2013/14	183	39%	1,0	0,5	0,4	314	73	28	4,0	3,9	4,2	20	362
2014/15	168	44%	0,6	0,5	0,1	105	64	19	5,2	5,1	5,4	18	141
2015/16	151	49%	0,8	0,6	0,2	194	32	13	5,4	5,2	5,6	23	230
2016/17	166	53%	1,0	0,7	0,3	241	37	19	5,5	5,3	5,7	33	293
2017/18	240	56%	0,7	0,6	0,1	128	14	5	5,0	4,8	5,1	31	164
2018/19	209	58%	0,9	0,7	0,3	279	33	18	5,1	4,9	5,3	40	337
2019/20	222	60%	0,9	0,7	0,3	286	30	16	5,3	5,1	5,5	44	346
2020/21	204	61%	0,9	0,7	0,2	128	18	10	4,1	4,0	4,2	32	170
Beneficios totales 2012-2021	*1.847*		*131*				*260*	*2.239*					

Fuente: elaborado por la Bolsa de Cereales en base a datos de INBIO, MAG e informantes calificados.

Tabla A4. Ahorro de emisiones de dióxido de carbono por menor uso de combustible estimado, según tipo de semilla

Campaña	*GM*	*No GM*	*Total SD*
2004/2005	54,41	69,2	123,64
2005/2006	83,25	52,1	135,39
2006/2007	94,61	33,3	127,96
2007/2008	108,99	41,0	150,02
2008/2009	103,35	28,5	131,84
2009/2010	103,25	29,4	132,69
2010/2011	120,55	26,7	147,25
2011/2012	128,54	26,1	154,64
2012/2013	142,67	31,9	174,58
2013/2014	157,03	32,2	189,18
2014/2015	157,53	22,9	180,38
2015/2016	182,36	25,3	207,63
2016/2017	181,68	26,9	208,57
2017/2018	205,74	21,5	227,29
2018/2019	232,46	21,1	253,53
2019/2020	242,98	20,7	263,64
2020/2021	252,70	20,8	273,48
2021/2022	245,05	12,7	257,74
Acumulado 2004 -2021	**2.797,14**	**542,32**	**3.339,46**

Fuente: estimaciones de la Bolsa de Cereales

Tabla A5. Ahorro de emisiones de dióxido de carbono por secuestro de carbono estimados, según tipo de semilla

Campaña	*GM*	*No GM*	*Total*
2004/05	252,2	324,5	576,7
2005/06	385,9	245,8	631,7
2006/07	438,6	157,0	595,6
2007/08	505,7	193,9	699,6
2008/09	479,5	134,6	614,1
2009/10	479,0	138,5	617,5
2010/11	559,5	126,0	685,5
2011/12	596,8	123,4	720,3
2012/13	662,8	150,7	813,4
2013/14	729,7	151,7	881,4
2014/15	731,6	107,6	839,2
2015/16	847,3	119,2	966,5
2016/17	844,7	127,0	971,7
2017/18	955,7	101,4	1.057,1
2018/19	1.080,5	99,8	1.180,2
2019/20	1.129,4	97,8	1.227,2
2020/21	1.174,6	98,4	1.273,0
2021/22	1.140,6	60,0	1.200,6
Acumulado 2004-2021	**12.994,0**	**2.557,1**	**15.551,1**

Fuente: estimaciones de la Bolsa de Cereales

Anexo II: Modelo de equilibrio parcial

Estimar de manera directa el rol de una nueva tecnología en la expansión del área sembrada, por ejemplo, midiendo sólo el impacto en costo, no es una estrategia adecuada debido a que se corre el riesgo de subestimar la relevancia de las interacciones con otras prácticas.

En particular, para este informe, debe tomarse en consideración que la expansión en el uso de semillas GM se asocia, por ejemplo, a una mayor adopción de la siembra directa, al incremento de utilización de tecnologías de insumos, a las mayores inversiones en maquinarias e infraestructura, e incluso a la posibilidad de utilizar suelos con gran presión de plagas. Dado que medir todos estos factores de manera simultánea es difícil, se optó por estimar los cambios de manera indirecta.

Básicamente, el cambio implicado por esta tecnología sobre el área se mide por diferencia entre los datos observados y el área que se habría observado de no contarse con la nueva tecnología:

$$Ef.GM_{dit} = Area_{dit}^{obs} - Area_{dit}^{noGM}$$

Donde $Area_{dit}^{obs}$ es la superficie efectivamente observada para el departamento d, el cultivo i y la campaña t, mientras que $Area_{dit}^{noGM}$ es la que se habría observado sin tecnologías GM. Esta última se estima como:

$$Area_{dit}^{noGM} = Ef.precios_{dit} + Ef.competencia_{dit} + Tendencia_{dit}$$

Donde $Ef.precios_{dit}$ es el efecto de los precios tanto de insumos como de productos sobre las decisiones de siembra, el $Ef.competencia_{dit}$ corresponde al impacto de las nuevas tecnologías que pueden provocar cambios en el mix de producción. Los componentes restantes se estiman por medio de una tendencia lineal ($Tendencia_{dit}$) para cada departamento, pero considerando el período 1990-1997, de manera que sólo cubre el cambio implicado por las inversiones o mejoras existentes antes de la adopción de tecnología GM.

El efecto $Ef.Precios_{dit}$ se estima a partir de elasticidades precio de área:

$$Ef.Precios_{dit} = \left(\Pi_j \left(\frac{P_{jt}}{P_{j0}} \frac{Costos_{j0}}{Costos_{jt}} \right)^{\mu_{ij}} - 1 \right) . Area_{di0}^{obs}$$

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, y $Costos_{jt}$ es un índice que contempla la evolución de los costos de producción.

Las elasticidades μ_{ij} indican la expansión de las áreas en función de los incentivos de precios. Las elasticidades directas se tomaron del modelo IMPACT de IFPRI (Rosegrant, M. W. et al., 2012), mientras que las cruzadas se calibraron asumiendo una elasticidad de substitución Allen de 0,36, que se traduce en una elasticidad de expansión del área total de 0,3, consistente con el supuesto que utiliza CAPRI (Britz & Witzke, 2015) para Paraguay.

Por último, el $Ef.competencia_{dit}$ se estima a partir de las mismas elasticidades:

$$Ef.competencia_{dit} = \left(gm_{soja,t}{}^{\mu_{i,soja}} - 1 \right). Area_{di0}^{obs}$$

Donde $gm_{soja,t}$ es el beneficio neto de la tecnología GM expresado como equivalente del precio del producto. Dada la baja participación relativa del maíz y el algodón, se asume que estos productos no generan un efecto competencia significativo como producto de la tecnología GM, pero que esto sí ocurre con la soja. De ese modo, se calcula el $Area_{dit}^{noGM}$ para soja y surge $gm_{soja,t}$ como residuo.

Anexo III: INBIO

El Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) es una asociación civil sin fines de lucro, que tiene el propósito de promover un adecuado acceso al país de los productos derivados de la biotecnología agropecuaria y la incorporación ordenada de los mismos a la producción nacional, así como promoción y desarrollo de la investigación de biotecnología nacional.

Está integrado por las principales entidades del sector semillero y de la producción y comercialización de granos: la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas; la Asociación de Productores de Semillas del Paraguay; la Coordinadora Agrícola del Paraguay; la Federación de Cooperativas de Producción; la Asociación de Productores de Soja, Oleaginosas y Cereales del Paraguay; la Central Nacional de Cooperativas; y la Asociación Paraguaya de Obtentores Vegetales.

Su propósito es contribuir a la prosperidad y bienestar del agricultor paraguayo mediante la promoción del clima favorable para la inversión, desarrollo, innovación y adopciones de productos y procesos biotecnológicos paraguayos sostenibles y compatibles; y en armonía con los principios básicos de sostenibilidad ambiental y seguridad para la salud humana y animal. Para ello:

I. Promueve las buenas prácticas agrícolas, para proteger la salud de los trabajadores rurales y la inocuidad de los productos agropecuarios derivados de la biotecnología;

II. Ayuda a fortalecer los mecanismos para la protección de los derechos de propiedad intelectual referidos a la biotecnología para lograr un adecuado ambiente institucional.

III. Promueve la capacitación de los recursos humanos disponibles en áreas claves para la investigación y desarrollo de la biotecnología.

IV. Establece y promueve alianzas estratégicas con Organismos nacionales e internacionales, la Universidad, y los Institutos y Centros de Investigación y afines y con Empresas involucradas en investigación y desarrollo de biotecnología.

V. Coopera con las autoridades nacionales para la formulación y debida aplicación de las regulaciones.

Para cumplir con sus objetivos ha organizado sus actividades en base a 3 ejes de acción:

1. **Capacitación:** Implementa un Programa de Agricultura Sustentable con Biotecnología para pequeños productores y escuelas agrícolas, a través de parcelas demostrativas. Con el lema "aprender haciendo" desarrolla una agricultura sustentable con biotecnología, conforme la realidad de cada cooperador.

- **Becas:** Ofrece oportunidades de becas de posgrado a nivel nacional e internacional a profesionales del área agrícola relacionadas a la biotecnología. Igualmente, apoya a diversos tipos de capacitaciones o eventos de interés.

2. **Investigación Agrícola:** i) financia actividades de investigación para el mejoramiento de soja en un acuerdo de cooperación con el Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola (IPTA); con ello se han obtenido diversas variedades SOJAPAR (soja paraguaya). ii) financia el fortalecimiento de la investigación y difusión del mejoramiento de trigo en un convenio de cooperación con el Instituto Paraguayo de Tecnología Agrícola (IPTA), el Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) y la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO); se han logrado 7 variedades de trigo con distintos atributos agronómicos y calidades industriales (2 Canindé y 5 Itapúa).

3. **Comunicación:** Se realizan acciones para posicionar al sector agrícola en general, a la biotecnología en particular como herramienta de producción, y a INBIO como referente en biotecnología, a través de su sitio web, redes sociales y medios de comunicación.

El material es un análisis de los beneficios asociados al uso de cultivos genéticamente modificados en Paraguay. Principalmente su impacto durante los años en que se vienen utilizando.

El INBIO impulsó este estudio con el objetivo de brindar informaciones que permitan desarrollar estrategias para el sector.

INBIO
INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

www.inbio.org.py
Brasilia 939. Asunción, Paraguay
Telfax.: (595 21) 233 892/3

INBIOPY
INBIO Comunicación
INBIO - Instituto de Biotecnología Agrícola
INBIO - Instituto de Biotecnología Agrícola PY
INBIO Paraguay: @INBIOPY