

# **Quince Años de Cultivos Genéticamente Modificados en la Agricultura Argentina**

**Eduardo J. Trigo**

**Noviembre de 2011**



El presente estudio fue financiado por el Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología – ArgenBio.



#### **Sobre el autor:**

El Dr. Eduardo J. Trigo es investigador independiente miembro de FORGES y de Grupo CEO, entidades relacionadas a la investigación y el asesoramiento en el sector agropecuario. El autor agradece los aportes, sugerencias y comentarios del Dr. Eugenio J. Cap, Director del Instituto de Economía y Sociología del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, INTA, y la colaboración de Federico Villarreal, investigador asociado de FORGES, en el desarrollo de este documento.

#### **Sobre ArgenBio:**

ArgenBio (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología) es una institución sin fines de lucro que tiene como misión divulgar información sobre la biotecnología, contribuyendo a su comprensión a través de la educación y estimulando su desarrollo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

RESUMEN EJECUTIVO	4
CAPÍTULO 1	
LOS CULTIVOS GM EN LA AGRICULTURA ARGENTINA	6
CAPÍTULO 2	
LOS IMPACTOS ECONÓMICOS DE LOS CULTIVOS GM EN LA AGRICULTURA ARGENTINA	13
2.1 Introducción y planteo metodológico	13
2.2 La soja GM: un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1996-2011)	14
2.2.1 Impactos económicos directos a nivel nacional	14
2.2.1.1 Beneficios por reducción de costos de producción	14
2.2.1.2 Beneficios por expansión del área cultivable	15
2.2.2 Impactos a nivel global	20
2.3. Los maíces GM. Un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1998-2011)	22
2.3.1 Beneficios del maíz resistente a insectos lepidópteros (Bt)	22
2.3.2 Beneficios del maíz resistente a lepidópteros y tolerante a herbicida (Bt+TH)	22
2.3.3 Resumen de impactos del maíz Bt y del maíz Bt+TH	22
2.4 El algodón GM. Un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1998-2011)	24
2.4.1 Beneficios del algodón resistente a lepidópteros (Bt)	24
2.4.2 Beneficios del algodón TH	24
2.4.3 Resumen de los impactos del algodón Bt y del algodón TH	24
2.5. Resumen de los beneficios económicos y sobre la generación de empleo de los cultivos GM	27
2.5.1. Resumen de los beneficios económicos de los cultivos GM	27
2.5.2. Impacto económico indirecto a nivel nacional: generación de empleos	27
CAPÍTULO 3	
EVENTOS AÚN NO APROBADOS EN ARGENTINA:	
UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE IMPACTOS DE SU ADOPCIÓN (2011-2022)	29
3.1 La soja resistente a lepidópteros y tolerante a glifosato (Bt+TH)	30
3.1.1 Beneficios de la adopción de la tecnología Bt+TH	30
3.1.2 Resumen de los impactos	30
3.2 Trigo tolerante a sequía (TS)	33
3.2.1 Beneficios de la adopción de la tecnología	33
3.2.2 Resumen de los impactos	33
CAPÍTULO 4	
ALGUNOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS	36
4.1. Las sinergias entre tecnologías GM y las prácticas de siembra directa	36
4.2. Otros beneficios relacionados con la salud humana y ambiental	38
4.3. El impacto sobre el balance de fósforo en los suelos dedicados a soja	39
CAPÍTULO 5	
EL DESAFÍO DE MANTENERSE COMO ADOPTANTE TEMPRANO	43
BIBLIOGRAFÍA	45
ANEXO I	48
ANEXO II	52

## RESUMEN EJECUTIVO

La Argentina es uno de los países líderes en la utilización en su agricultura de cultivos genéticamente modificados (GM), con más de 22 millones de hectáreas dedicadas a los cultivos de soja, maíz y algodón que utilizan este tipo de tecnologías. El proceso de adopción de las mismas se inició en el año 1996 con la introducción de la primera soja tolerante al herbicida glifosato y ha continuado ininterrumpidamente, con una dinámica de adopción casi sin precedentes a escala mundial y que ha llevado, a que en la actualidad, este tipo de tecnologías se utilicen en prácticamente la totalidad del cultivo de soja, en el 86% del área de maíz y el 99% de la superficie de algodón. Este proceso le ha reportado al país un beneficio bruto acumulado de 72.645,52 millones de dólares. De este total, 65.435,81 millones correspondieron a la soja tolerante a herbicida, 5.375 millones a maíces resistentes a insectos (Bt) y tolerantes a herbicida (eventos simples y acumulados), y 1.834 millones a algodones resistentes a insectos y tolerantes a herbicida (eventos simples y acumulados).

Adicionalmente a los beneficios mencionados, se ha estimado también el impacto que las tecnologías GM han tenido en términos de generación de empleos, desde el momento de su introducción hasta la última campaña (2010/11). Según las estimaciones realizadas en los 15 años desde su adopción, el total de empleos generados por la economía argentina que podrían ser atribuidos a estas tecnologías sería de más de 1,8 millones.

La estimación de los beneficios mencionados se ha realizado en base a un modelo matemático desarrollado por el INTA (SIGMA), el cual utiliza información obtenida a partir del Estudio del Perfil Tecnológico del Sector Agropecuario Argentino, complementado con información del MAGyP, ArgenBio, INDEC y FAO. El modelo permite tanto el cálculo de los beneficios brutos como de la forma en que los mismos se han distribuido entre los distintos actores productivos y el Estado. En este sentido, en el caso de la soja tolerante a herbicida, el valor bruto de los beneficios obtenidos por la reducción de costos fue de 3.518,66 millones de dólares y por la expansión de la superficie cultivable, de 61.917,15 millones de dólares. En cuanto a la distribución de estos beneficios, 72,4% fueron a los productores, 21,2 al estado nacional – a través de las retenciones y otros impuestos - y el 6,4% restante a los proveedores de las tecnologías (semillas y herbicidas, distribuidos aproximadamente en partes iguales). En el caso del maíz, los beneficios acumulados se distribuyeron en un 68,2% para los productores, 11,4% para el estado nacional y 20,4% para los proveedores de tecnologías (con el grueso, un 19%, para el sector de los semilleros). Finalmente, los beneficios en el caso del algodón fueron mayoritariamente a los productores (un 96%), con un 4 % para los proveedores de las tecnologías (3% a los proveedores de semillas y el resto a los de agroquímicos).

Dada la importancia de la producción de soja argentina en el mundo, se estimó, utilizando la misma información generada para el análisis del impacto en la Argentina, el impacto global, en términos de ahorro para los consumidores, que ha tenido la adopción de esta tecnología por parte de los agricultores argentinos en el gasto de los consumidores (por reducción del precio global). El total acumulado para el periodo 1996-2011 se estimó en unos 89.000 millones de dólares, lo que sumado al beneficio bruto acumulado en el país (65.000 millones de dólares), daría un beneficio total de la soja tolerante a herbicida de unos 154.000 millones de dólares. En términos de precios, los estimados indican que si este proceso de adopción no hubiese ocurrido, el precio internacional de la soja hubiese sido, en 2011, un 14% más alto que lo que fue.

Este documento está organizado en cinco capítulos. El primero, a modo de introducción, sintetiza los aspectos salientes del proceso de incorporación de los cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina, a través de la historia de las autorizaciones para ensayos a campo y para siembra comercial, la composición (por cultivo y característica) y el origen de las mismas, así como la dinámica de adopción en comparación con otras tecnologías de importancia a nivel nacional y mundial.

El capítulo 2 representa el cuerpo principal del estudio, y allí se presenta el análisis del impacto económico mencionado más arriba. Por su parte, el capítulo 3 muestra, usando la misma metodología que la empleada para el análisis retrospectivo, una estimación de los potenciales beneficios que se podrían generar con el cultivo comercial de una soja con tolerancia a herbicida y resistencia a insectos (eventos acumulados) y de un trigo tolerante a sequía, para tres escenarios posibles de precios y adopción. Los resultados indican que de liberarse estas tecnologías a partir de la próxima campaña, los beneficios acumulados en los diez años siguientes serían de 9.131-26.073 millones de dólares en el caso de la soja y 526-1.923 millones en el caso del trigo, dependiendo de los diferentes escenarios.

En el capítulo 4 se analizan algunos impactos ambientales vinculados con las nuevas tecnologías, haciendo énfasis en la particular sinergia existente entre la expansión de las variedades GM y la práctica de la siembra directa, y el impacto positivo que ésta ha tenido en la estructura de los suelos y la eficiencia energética de las labores agrícolas. Estas prácticas generaron una reducción en el consumo de combustible para estos cultivos de un 38%, y también una sustantiva reducción en la utilización de herbicidas con mayor poder residual que el glifosato, lo que significó un importante efecto positivo en lo ambiental. Sin embargo, también han planteado interrogantes, como por ejemplo aquellos asociados a la expansión del monocultivo de soja y lo que éste implica en términos de la “exportación” de los nutrientes del suelo, y el avance de la agricultura hacia nuevas áreas con recursos más “frágiles” fuera de la región pampeana. Todos estos aspectos son relevantes y deben ser monitoreados, pero no cabe duda de que el paquete soja tolerante a herbicida + siembra directa es una alternativa superadora con respecto a la situación precedente, aunque por sí solo no resuelve todos los problemas de sostenibilidad implícitos en el proceso de intensificación agrícola.

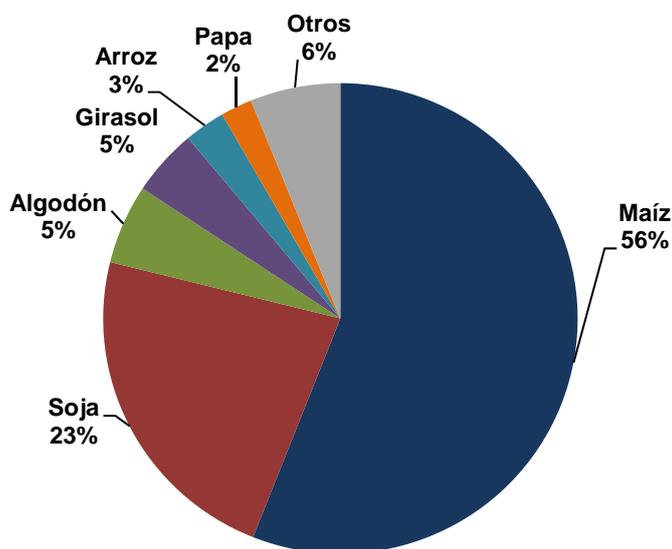
Finalmente, el capítulo 5, y como corolario, plantea el desafío de mantenerse como adoptante temprano. Partiendo de la información presentada a lo largo del documento, se plantean las ventajas que tuvo Argentina por haber aprovechado casi conjuntamente con el mercado norteamericano los beneficios de utilizar una tecnología novedosa. Se advierte, entonces, sobre las ventajas de estar en la punta de este tipo de procesos innovativos, y por extensión, sobre los riesgos – o costos de oportunidad – que tendría para el país un proceso de incorporación de tecnologías menos dinámico del que se ha dado en el pasado. Alejarse de la frontera de la innovación puede tener consecuencias palpables para la Argentina, y en el futuro mayores, quizás, que las que pudieron haber sido en el pasado. Continuar con el carácter de “adoptante temprano” pareciera ser entonces un tema estratégico de discusión en el cual deberían incorporarse cuestiones tales como los mecanismos de liberación comercial, la promoción de las inversiones en el sector y la redistribución de los beneficios en áreas de innovación, crecimiento económico y bienestar social.

## CAPÍTULO 1

### LOS CULTIVOS GM EN LA AGRICULTURA ARGENTINA

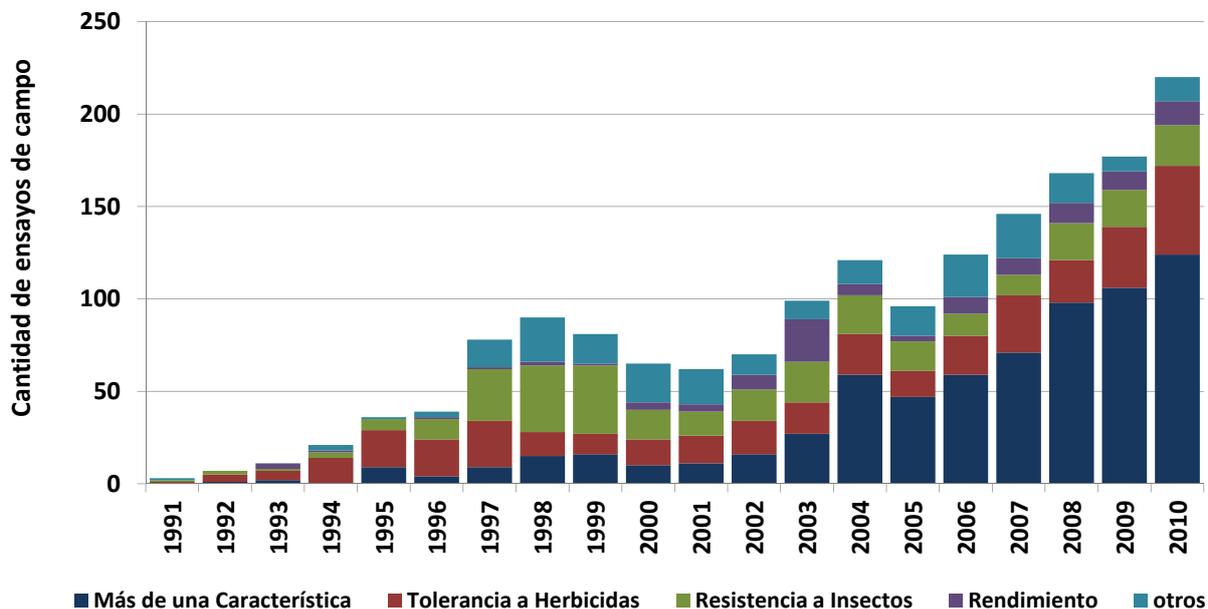
El primer cultivo genéticamente modificado (GM) que se introduce en la agricultura argentina es la soja tolerante al herbicida glifosato, que se incorpora durante la campaña agrícola de 1996/1997. Sin embargo, el proceso de introducción de este tipo de tecnologías tiene sus raíces institucionales en un período anterior, con la creación, en 1991, y en el ámbito de la entonces Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación (SAGPyA), de la Comisión Nacional Asesora de Bioseguridad Agropecuaria, CONABIA. La CONABIA, responsable en ese entonces del proceso regulatorio para la experimentación y liberación comercial de los eventos GM, facilitó en gran medida que las nuevas tecnologías se incorporaran rápidamente a los sistemas productivos del país. Desde su creación, en el marco de la CONABIA se han autorizado 1.721 ensayos de campo, siendo el maíz, la soja, el algodón y el girasol los cultivos con mayor número de evaluaciones realizadas, seguidos por el trigo, el arroz, la papa y plantas forrajeras (alfalfa), entre otras (Gráfico 1.1). En cuanto a las características de las tecnologías (Gráfico 1.2), hay una marcada evolución desde las características simples (tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos), hacia la combinación de características (eventos acumulados), que predominan claramente hacia el final del período, reflejando en este sentido lo que ha sido la tendencia que han seguido este tipo de tecnologías en otras partes del mundo (James, 2010). Finalmente, en lo que hace al origen (Gráfico 1.3), existe un claro predominio de las tecnologías provenientes del extranjero, las que representan el grueso de los ensayos de campo a lo largo de todo el período, con sólo un leve incremento de los ensayos de origen nacional en los últimos años.

**Gráfico 1.1. Ensayos de campo autorizados entre 1991 y 2010, por cultivo**



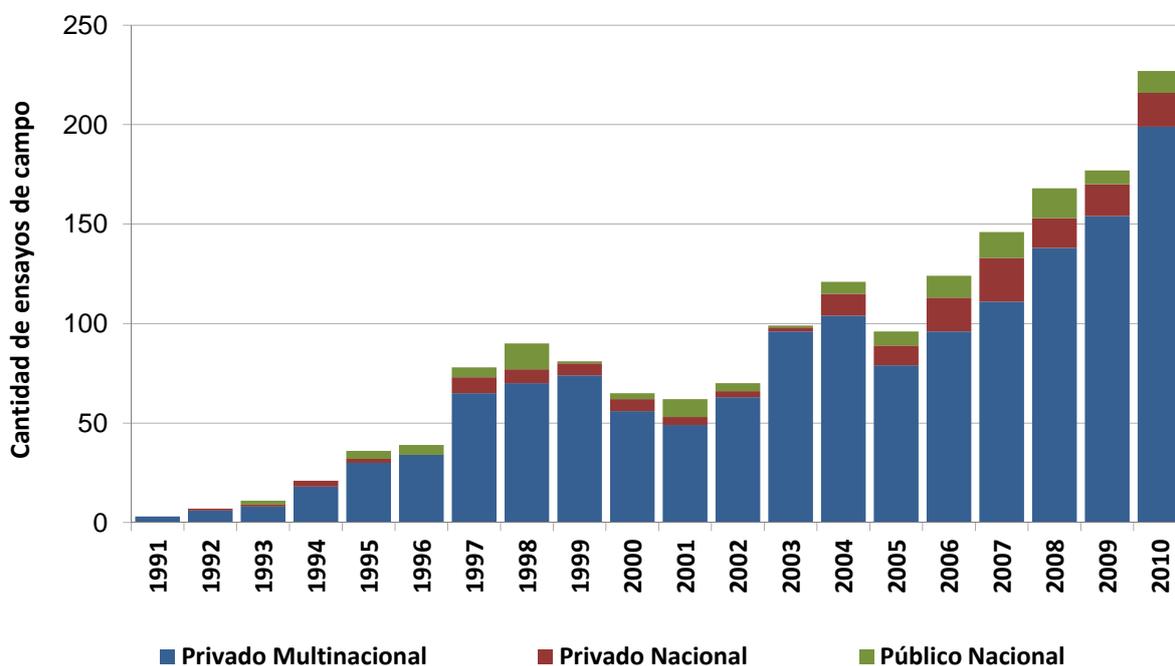
Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011

**Gráfico 1.2. Evolución del tipo de características de las tecnologías sometidas a ensayos de campo en Argentina (1991-2010)**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

**Gráfico 1.3. Origen de los ensayos de campo autorizados en Argentina (1991-2010)**



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca

En términos comerciales, luego de la aprobación de la soja tolerante a glifosato, se han aprobado para su siembra, consumo y comercialización otros veinte eventos, que incluyen 15 de maíz, 3 de algodón y 2 de soja (Tabla 1.1).

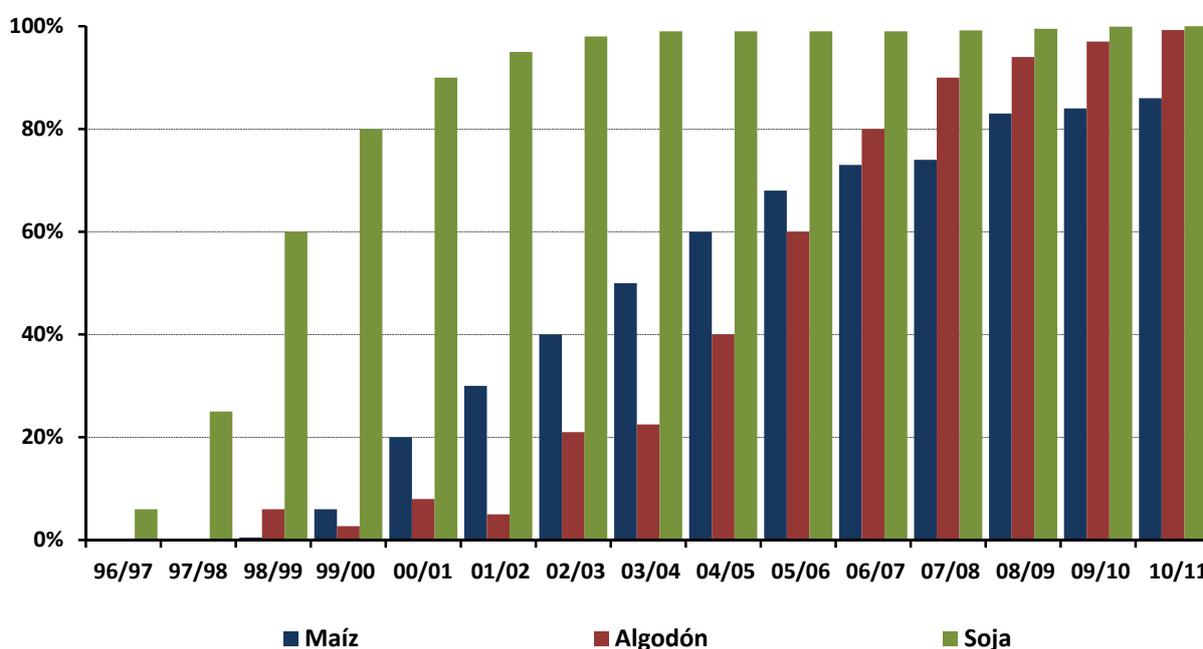
**Tabla 1.1. Eventos GM autorizados para siembra, consumo y comercialización en Argentina**

<b>Especie</b>	<b>Característica introducida</b>	<b>Empresa solicitante</b>	<b>Año</b>
<b>Soja</b>	Tolerancia a glifosato (40-3-2)	Nidera S. A.	1996
	Tolerancia a glufosinato de amonio (A2704-12)	Bayer S.A.	2011
	Tolerancia a glufosinato de amonio (A5547-127)	Bayer S.A.	2011
<b>Algodón</b>	Resistencia a lepidópteros (MON 531)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	1998
	Tolerancia a glifosato (MON 1445)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2001
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato (MON 531x MON 445)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2009
<b>Maíz</b>	Resistencia a lepidópteros (176)	Ciba-Geigy S. A.	1998
	Resistencia a lepidópteros (MON 810)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	1998
	Tolerancia a glufosinato de amonio (T25)	AgrEvo S. A.	1998
	Resistencia a lepidópteros (Bt11)	Novartis Agrosem S.A.	2001
	Tolerancia a glifosato (NK 603)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2004
	Tolerancia a glifosato (GA 21)	Syngenta Seeds S.A.	2005
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio (TC 1507)	Dow AgroSciences Argentina S.A.y Pioneer Argentina S.A	2005
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato (NK 603 x MON 810)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2007
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glufosinato de amonio y glifosato (1507 x NK 603)	Dow AgroSciences Argentina S.A. y Pioneer Argentina S.R.L.	2008
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato (Bt11 x GA21)	Syngenta Agro S.A.	2009
	Resistencia a lepidópteros (MON 89034)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2010
	Tolerancia a glifosato y resistencia a coleópteros (MON 88017)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2010
	Tolerancia a glifosato y resistencia a lepidópteros y coleópteros (MON 89034 x MON 88017)	Monsanto Argentina S.A.I.C.	2010
	Resistencia a lepidópteros (MIR162)	Syngenta Agro S.A.	2011
	Resistencia a lepidópteros y tolerancia a glifosato (Bt 11 x GA21 x MIR 162)	Syngenta Agro S.A.	2011

Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2011

A nivel productivo, por su parte, de las casi 22,9 millones de hectáreas sembradas con cultivos GM en la campaña 2010/2011, alrededor de 19 millones correspondieron a soja tolerante al herbicida glifosato, unas 3,5 millones a maíz (1,6 millones con resistencia a insectos, 300.000 con tolerancia a herbicida y 1,6 millones con ambas características combinadas) y 614.000 hectáreas a algodón (56.000 con tolerancia a herbicida, 8.000 con resistencia a insectos y 550.000 con ambas características combinadas) (ArgenBio, 2011). Estos guarismos representan aproximadamente el 100%, el 86% y el 99%, respectivamente, de la extensión total cultivada de cada una de estas especies (Gráfico 1.4), cifras que ubican a la Argentina en el tercer lugar, detrás de los Estados Unidos y Brasil, en cuanto al área con cultivos GM, siendo India y Canadá los países que ocupan los siguientes lugares (James, 2010).

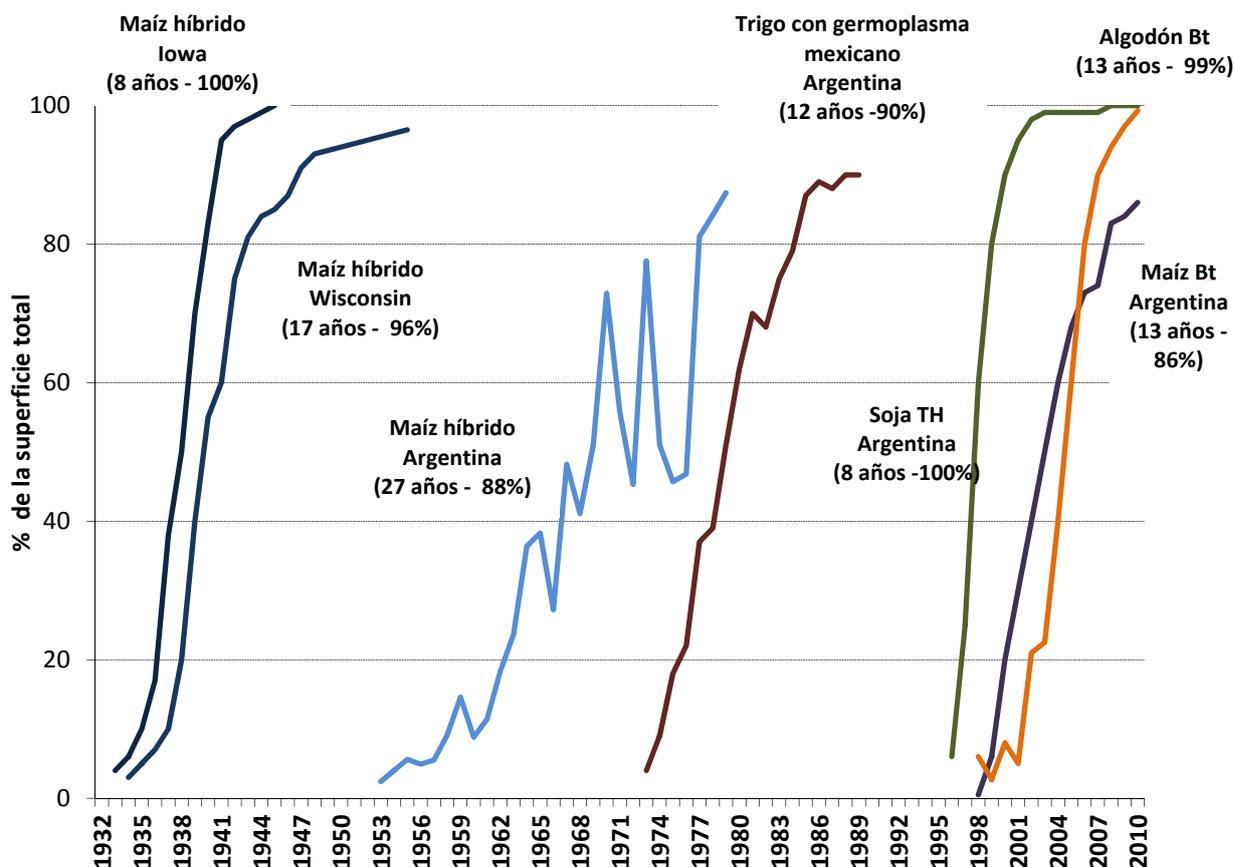
**Gráfico 1.4. Evolución de la participación de los cultivos GM sobre el total del área para cada cultivo**



Fuente: ArgenBio, 2011

Esta dinámica de adopción representa un proceso casi sin precedentes a nivel mundial, sólo comparable a lo ocurrido con el maíz híbrido en el estado de Iowa (EEUU) en la década de 1930, pero mucho más acelerado de lo que ocurrió con esas tecnologías en los otros estados del “corn belt” americano y, posteriormente, en otras partes del mundo con las tecnologías de la llamada “revolución verde”. Aún dentro de la experiencia argentina, la evolución de la incorporación de estas tecnologías a los procesos productivos se compara muy favorablemente con otras situaciones anteriores como la del maíz híbrido y los trigos con germoplasma mexicano (Gráfico 1.5). Los maíces híbridos tardaron 27 años en alcanzar el porcentaje de aceptación que hoy tienen los maíces GM después de apenas 13 años, y los trigos mexicanos llegaron en 12 años al porcentaje de adopción que ostentó la soja en sólo 4 campañas (el 90% del mercado).

**Gráfico 1.5. Velocidad de adopción de diferentes tecnologías en Argentina y Estados Unidos**



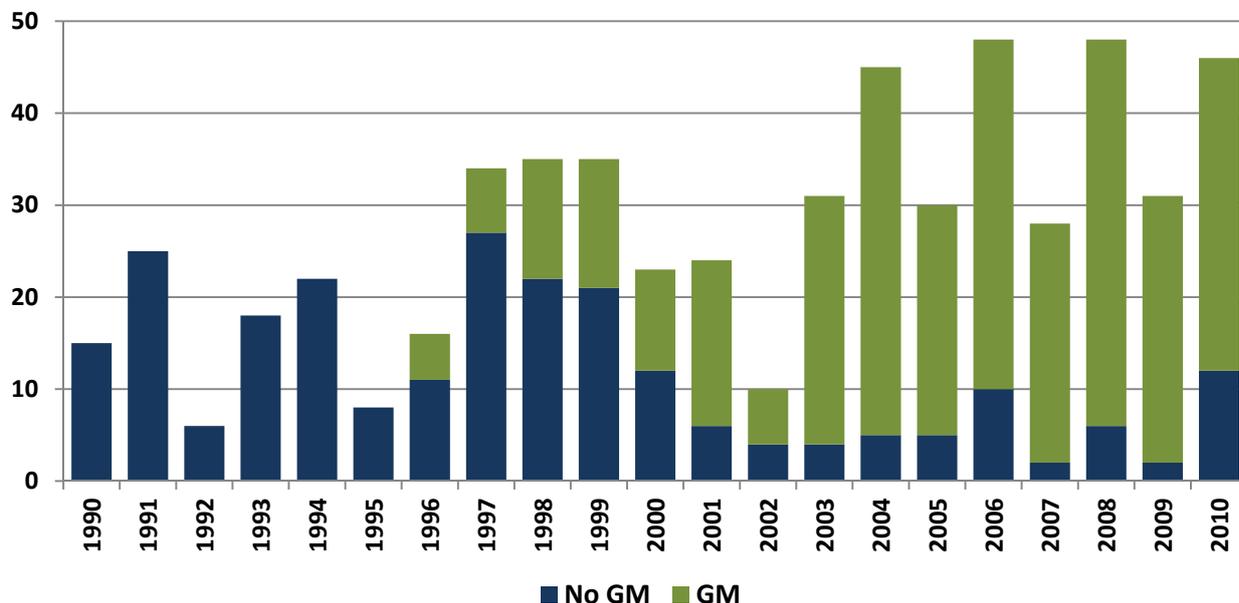
Fuente: elaboración propia en base a Trigo y Cap 2006 y ArgenBio 2011

Aparte del marco institucional que, sin duda, aportó la CONABIA para que el desarrollo de este tipo de tecnologías evolucionara de la forma en que lo hizo, otros aspectos que también incidieron en el proceso fueron la similitud entre las condiciones agroecológicas para las cuales estas tecnologías habían sido desarrolladas originalmente, y la existencia, al momento de la aparición de estas innovaciones, de una infraestructura de servicios tecnológicos consolidada, particularmente en lo que hace a la industria de la semilla (Trigo et. al, 2002; Trigo y Cap, 2006). La similitud de las condiciones agroecológicas facilitó la transferencia de los nuevos conceptos, en un claro proceso de aprovechamiento de “derrames” tecnológicos, y la industria de la semilla jugó un papel clave en la posterior y rápida difusión de las nuevas tecnologías una vez que estas estuvieron disponibles en el ámbito local. En este sentido, el éxito comercial de las variedades GM está comprobadamente asociado a la incorporación de los nuevos genes a una base genética bien adaptada agrónomicamente a las condiciones locales y a la existencia de una industria de la semilla capaz de llevar con rapidez y eficacia las nuevas variedades a los productores. Ambos aspectos están presentes en el caso argentino (Trigo et. al., 2002).

Hacia la fecha de la aparición de la soja tolerante a glifosato, existía ya en la Argentina una importante actividad de fitomejoramiento, tanto en el sector público como en el privado, con un total de 203 variedades de soja registradas, correspondiendo alrededor del 10% al sector público (INTA, principalmente) y el resto al sector privado, lo cual permitió que los nuevos genes se incorporaran rápidamente al ciclo productivo. De 1996 en adelante se evidencia un salto

cuantitativo en el número de variedades registradas (Gráfico 1.6), y el grueso de las nuevas variedades corresponde a las genéticamente modificadas.

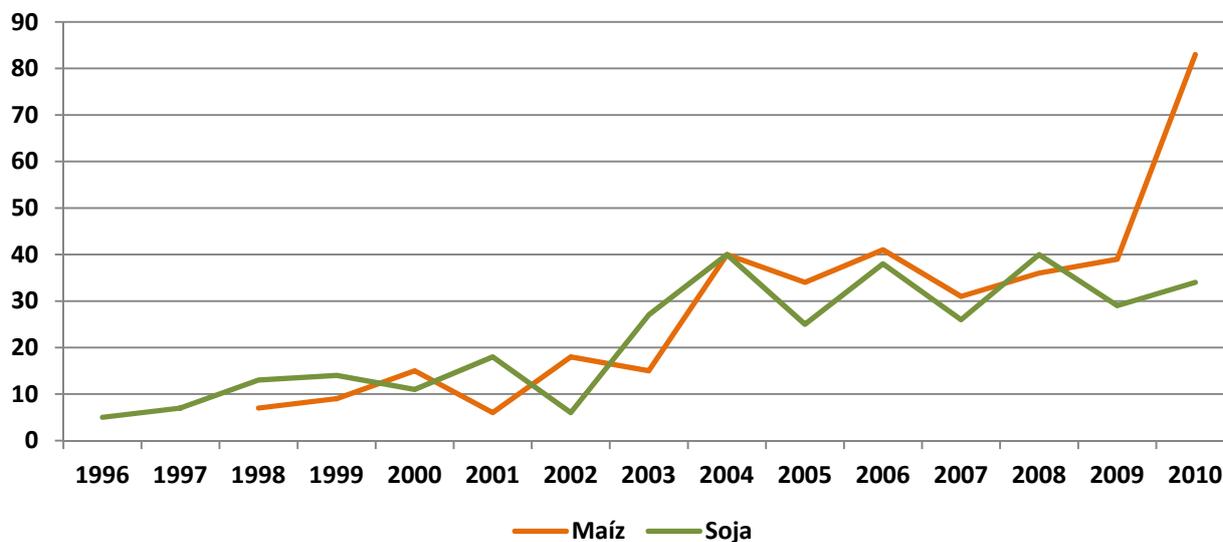
**Gráfico 1.6. Evolución de las variedades de soja GM y no-GM registradas en Argentina en el Registro Nacional de Cultivares (como % del total)**



Fuente: INASE, 2011

Un proceso similar al ocurrido para las variedades de soja se reconoce para el caso del maíz, dado que a partir de 1998 comenzaron a registrarse híbridos GM, y con el transcurso de los años estos pasaron a ser la regla, y no la excepción, en el registro (Gráfico 1.7).

**Gráfico 1.7. Evolución de las variedades de soja e híbridos de maíz GM registrados en el Registro Nacional de Cultivares de Argentina (como % del total)**



Fuente: INASE, 2011

Finalmente, el gran dinamismo del proceso de adopción también refleja la sinergia de la soja tolerante a herbicida con la práctica agronómica de la siembra directa (SD)<sup>1</sup> y, más adelante en el ciclo, la significativa caída en el precio del glifosato, como resultado del vencimiento de la patente y la rápida ampliación de las fuentes de oferta que siguió a ese hecho. Independientemente de estos aspectos técnicos y económicos, hay que resaltar también el papel que desempeñaron en este proceso las transformaciones organizativas que se dieron en la agricultura pampeana de mediados de la década de 1980 en adelante. En este sentido, la generalización de las prácticas que se han dado en conocer como de la “agricultura en red”, flexibilizaron los aspectos referidos al acceso a los recursos (tierra, conocimientos y capital) y facilitaron la profesionalización de la gestión de la empresa agropecuaria y, a través de ello, fueron un importante impulsor de los procesos de adopción de nuevas tecnologías (Trigo et. al. 2010). Sobre este aspecto y las implicancias en cuanto al impacto ambiental de la sinergia que existe entre estas tecnologías se vuelve más adelante en el capítulo 4 de este documento.

---

<sup>1</sup> La siembra directa consiste básicamente en depositar la semilla en el suelo a la profundidad requerida con un mínimo de perturbación de la estructura edáfica. Esto se hace a través de maquinaria especialmente diseñada a tal efecto, que elimina el uso del arado y minimiza el laboreo requerido para la implantación del cultivo.

## CAPÍTULO 2

### LOS IMPACTOS ECONÓMICOS DE LOS CULTIVOS GM EN LA AGRICULTURA ARGENTINA

#### 2.1 Introducción y planteo metodológico

La herramienta analítica empleada para estimar los impactos económicos de la disponibilidad de eventos GM en el sector agropecuario argentino consiste en un modelo matemático (SIGMA), desarrollado por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). El modelo reconstruye, mediante ejercicios de simulación, la realidad que se observa en el campo en países como la Argentina, con una marcada heterogeneidad de realidades tecnológico-productivas, no atribuibles a diferencias agroecológicas sino a factores socio-económico-institucionales.

El componente clave del modelo es la reconstrucción del proceso de adopción, por parte de los productores, de innovaciones tecnológicas que generan modificaciones en la función de producción, induciendo el uso más eficiente de los recursos, lo que, a su vez, genera un incremento en el rendimiento y/o una reducción en el costo unitario y/o un aumento en la calidad del producto y/o una expansión del área potencialmente apta para la producción comercial del rubro en cuestión.

El modelo puede ser empleado para estudios *ex-ante* y *ex-post* y el resultado final es una estimación de los efectos sobre la producción agregada (regional o nacional), de escenarios alternativos de generación y adopción de tecnología. Esto es, SIGMA calcula el beneficio social (no la rentabilidad privada). Es decir, cuánto más sería producido (en volumen y valor) en comparación con una línea de base definida, por la adopción (por senderos que varían según el perfil del productor) de tecnologías ya disponibles en el mercado o a ser generadas en el futuro por el sistema de I+D (para mayores detalles, ver Anexo I).

Los datos empleados en las corridas de simulación incluidas en este capítulo (desagregados a nivel de zona agroecológica homogénea), fueron obtenidos del Estudio del Perfil Tecnológico del Sector Agropecuario Argentino (INTA, 2002), complementados por información del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP), ArgenBio, el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INDEC) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

## 2.2 La soja GM: un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1996-2011)

### 2.2.1 Impactos económicos directos a nivel nacional

#### 2.2.1.1 Beneficios por reducción de costos de producción

Se formuló el supuesto (conservador, en el sentido de que se prefirió subestimarlos) de que la adopción de variedades GM que contienen el gen de tolerancia al glifosato implica una reducción de los costos en un monto promedio de 20 USD/ha (Penna y Lema, 2003), reducción que es aplicable tanto a la soja de primera como a la de segunda (siguiendo al trigo) y que se produce, principalmente, por la eliminación de las labores e insumos asociados con la aplicación de herbicidas selectivos de pre y post-emergencia, que sí requieren las variedades convencionales. Estos beneficios son aplicables a toda el área dedicada a la soja en cada año, ajustando siempre por el porcentaje de adopción correspondiente a ese año en particular. En la Tabla 2.1 se presenta un resumen agregado de los valores a nivel nacional.

**Tabla 2.1. Evolución del beneficio bruto de la adopción de soja GM por reducción de costos de producción**

Campaña	Área con soja GM	Beneficio Bruto
	(ha)	(M USD)*
1996/97	370.000	7,40
1997/98	1.800.000	36,00
1998/99	4.875.396	97,51
1999/00	6.870.511	137,41
2000/01	8.783.542	175,67
2001/02	10.381.943	207,64
2002/03	11.756.084	235,12
2003/04	13.057.989	261,16
2004/05	14.407.585	288,15
2005/06	15.859.058	317,18
2006/07	16.141.337	322,83
2007/08	16.603.525	332,07
2008/09	18.032.805	360,66
2009/10	18.343.272	366,87
2010/11	18.650.000	373,00
<b>Total 1996-2011</b>		<b>3.518,66</b>

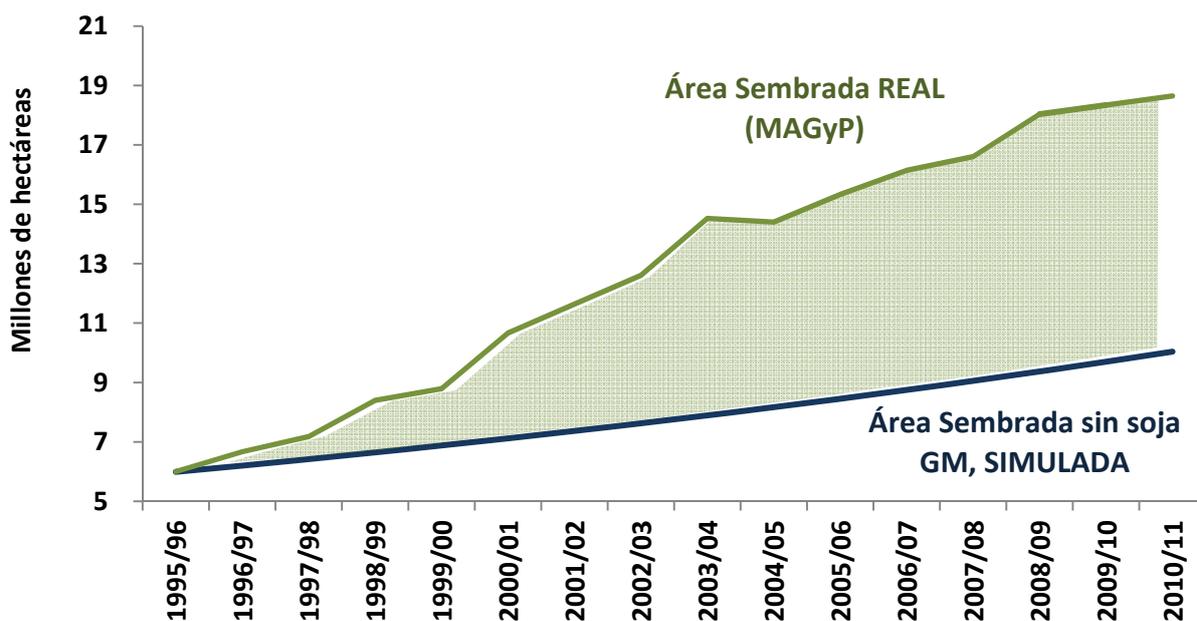
\*M: millones

Fuente: Elaboración propia en base a estimaciones de ArgenBio, datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y corridas de simulación en SIGMA v2.0 (2011).

### 2.2.1.2 Beneficios por expansión del área cultivable

A partir de la aprobación del evento de tolerancia a herbicida en 1996, se produjo un quiebre muy evidente en la tendencia de expansión del área sembrada con soja. Para el período 1971-1996, la tasa anual de incremento del área fue de 3,5%. Para el período 1997-2011, en cambio, la tasa pasó a ser del 9,4% anual. Para estimar la magnitud y evolución del flujo de beneficios brutos resultantes de la adopción de la soja GM, se recurrió a un enfoque contrafáctico, contrastando la serie de tiempo de área efectivamente cultivada con la oleaginosa, tal como fue publicada por la SAGPyA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentos, desde 2007, MAGyP), con los resultados de una corrida de simulación SIGMA, con una tasa de expansión de 3,5% anual para todo el período (reconstruyendo una secuencia de eventos que no ocurrieron, debido a la disponibilidad de los materiales GM) (Gráfico 2.1).

Gráfico 2.1. Evolución del área sembrada real vs. área sembrada sin liberación de soja GM, simulada por SIGMA



Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y corridas de simulación en SIGMA v2.2 (2011)

En la Tabla 2.2 se presenta la evolución del incremento del área sembrada con soja durante el período 1996-2011, atribuible a la adopción de los materiales GM.

**Tabla 2.2. Área real sembrada con soja desde la liberación de las variedades GM (datos MAGyP) y datos simulados de la evolución de área sembrada sin GM (SIGMA)**

Campaña	Área sembrada (ha)		Diferencia GM
	MAGyP	Simulada sin soja GM	
1996/1997	6.669.500	6.291.689	377.811
1997/1998	7.176.250	6.369.623	806.627
1998/1999	8.400.000	7.107.989	1.292.011
1999/2000	8.790.500	6.950.402	1.840.098
2000/2001	10.664.330	8.206.674	2.457.656
2001/2002	11.639.240	8.487.098	3.152.142
2002/2003	12.606.845	8.675.062	3.931.783
2003/2004	14.526.606	9.720.962	4.805.644
2004/2005	14.399.998	8.616.285	5.783.713
2005/2006	15.329.000	8.451.997	6.877.003
2006/2007	16.141.337	8.749.387	7.391.950
2007/2008	16.603.525	9.055.615	7.547.910
2008/2009	18.032.805	9.372.562	8.660.243
2009/2010	18.343.272	9.700.602	8.642.670
2010/2011	18.650.000	10.040.123	8.609.877

Fuente: Elaboración propia en base a datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGyP) y corridas de simulación en SIGMA v2.0 (2011)

En la Tabla 2.3 se presentan la evolución del beneficio bruto (medido en dólares) que se estimó valorizando, a partir de precios FOB Buenos Aires promedio de cada año, para el periodo 1996-2011, y la producción obtenida en cada campaña atribuible a la expansión del área sembrada con soja por adopción de los materiales GM.

**Tabla 2.3. Evolución del beneficio bruto de la liberación de la soja GM por expansión del área cultivable**

<b>Campaña</b>	<b>Área Sembrada Diferencia GM (ha)</b>	<b>Rendimiento MAGyP (t/ha)</b>	<b>Precio FOB (USD/t)</b>	<b>Beneficio Bruto (M USD)</b>
<b>1996/97</b>	377.811	1,72	296,50	192,81
<b>1997/98</b>	806.627	2,69	221,83	481,99
<b>1998/99</b>	1.292.011	2,45	175,33	553,86
<b>1999/00</b>	1.840.098	2,33	187,42	803,96
<b>2000/01</b>	2.457.656	2,58	171,50	1.089,38
<b>2001/02</b>	3.152.142	2,63	198,00	1.641,70
<b>2002/03</b>	3.931.783	2,80	238,42	2.627,95
<b>2003/04</b>	4.805.644	2,21	268,08	2.843,92
<b>2004/05</b>	5.783.713	2,73	230,67	3.640,17
<b>2005/06</b>	6.877.003	2,64	225,56	4.098,36
<b>2006/07</b>	7.391.950	2,97	270,33	5.936,92
<b>2007/08</b>	7.547.910	2,82	486,00	10.348,23
<b>2008/09</b>	8.660.243	1,85	424,67	6.796,42
<b>2009/10</b>	8.642.670	2,91	362,67	9.105,46
<b>2010/11</b>	8.609.877	2,70	505,33	11.756,02
<b>Total 1996-2011</b>				<b>61.917,15</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos del MAGyP y resultados de corridas de simulación SIGMA (2011).

En la Tabla 2.4 se presenta la evolución, para el período 1996-2011, del beneficio bruto por reducción de costos, por expansión del área cultivable y el total.

**Tabla 2.4. Evolución del beneficio bruto total de la liberación de la soja GM**

<b>Campaña</b>	<b>Beneficio Bruto por Reducción de Costos</b>	<b>Beneficio Bruto por Expansión del Área Cultivable</b>	<b>Beneficio Bruto Total GM</b>
	<b>(M USD)</b>	<b>(M USD)</b>	<b>(M USD)</b>
<b>1996/97</b>	7,40	192,81	200,21
<b>1997/98</b>	36,00	481,99	517,99
<b>1998/99</b>	97,51	553,86	651,37
<b>1999/00</b>	137,41	803,96	941,37
<b>2000/01</b>	175,67	1.089,38	1.265,05
<b>2001/02</b>	207,64	1.641,70	1.849,33
<b>2002/03</b>	235,12	2.627,95	2.863,07
<b>2003/04</b>	261,16	2.843,92	3.105,08
<b>2004/05</b>	288,15	3.640,17	3.928,32
<b>2005/06</b>	317,18	4.098,36	4.415,55
<b>2006/07</b>	322,83	5.936,92	6.259,75
<b>2007/08</b>	332,07	10.348,23	10.680,30
<b>2008/09</b>	360,66	6.796,42	7.157,08
<b>2009/10</b>	366,87	9.105,46	9.472,32
<b>2010/11</b>	373,00	11.756,02	12.129,02
<b>Total 1996-2011</b>	<b>3.518,66</b>	<b>61.917,15</b>	<b>65.435,81</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de corridas de simulación en SIGMA v2.0 (2011)

En la Tabla 2.5 se presenta la distribución del flujo del beneficio bruto total para el período 1996-2001, entre los actores principales del sector: productores, proveedores de insumos asociados con la tecnología GM y el Estado Nacional (por derechos de exportación, vigentes a partir de la campaña 2002/2003).

**Tabla 2.5. Distribución de los beneficios de la soja GM**

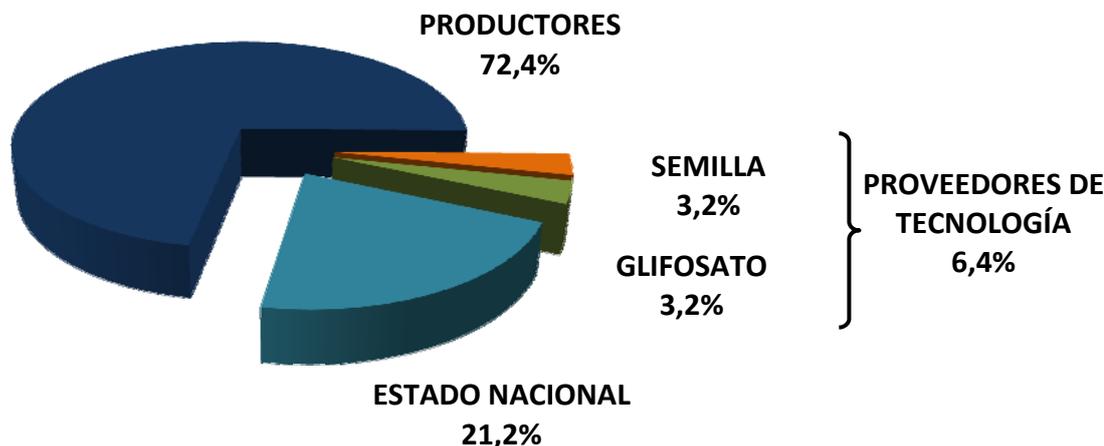
Campaña	Beneficio Bruto Total (M USD)	Área con soja GM (ha)	Productores (M USD)	Proveedores de Tecnología (M USD)		Estado (M USD)
				Semilla (*)	Glifosato	
1996/97	200	370.000	189	6	5	-
1997/98	518	1.800.000	467	27	23	-
1998/99	651	4.875.396	526	74	51	-
1999/00	941	6.870.511	722	110	109	-
2000/01	1.265	8.783.542	1.062	72	131	-
2001/02	1.849	10.381.943	1.641	83	125	-
2002/03	2.863	11.756.084	2.132	83	122	526
2003/04	3.105	13.057.989	2.322	94	120	569
2004/05	3.928	14.407.585	2.928	88	184	728
2005/06	4.416	15.859.058	3.296	134	165	820
2006/07	6.260	16.141.337	4.920	234	213	893
2007/08	10.680	16.603.525	8.436	226	287	1.731
2008/09	7.157	18.032.805	3.784	202	240	2.931
2009/10	9.472	18.343.272	6.559	356	190	2.367
2010/11	12.129	18.650.000	8.383	281	154	3.311
<b>Total</b>	<b>65.436</b>		<b>47.369</b>	<b>2.070</b>	<b>2.121</b>	<b>13.876</b>
					<b>4.191</b>	
<b>Distribución porcentual</b>			<b>72,4%</b>	<b>3,2%</b>	<b>3,2%</b>	<b>21,2%</b>

(\*) Para las primeras diez campañas se computó el equivalente al 20% del área sembrada con soja GM (el 80% restante se distribuye de la siguiente manera: uso propio, 32%, y bolsa blanca, 48%). Sin embargo, para las últimas cinco campañas, se computó el equivalente al 50% del área sembrada con soja GM (el 50% restante corresponde a uso propio de la semilla y bolsa blanca).

Fuente: Elaboración propia en base a datos de Márgenes Agropecuarios, Costamagna, O. (2004), INDEC y corridas de simulación en SIGMA v2.0 (2011)

En el Gráfico 2.2 se resume la distribución del beneficio bruto acumulado en el período 1996-2011, entre actores del sector.

**Gráfico 2.2. Distribución de los beneficios acumulados generados por la soja GM en el período 1996-2011**



**Beneficio Total Acumulado 1996-2011: 65.436 Millones de Dólares**

Fuente: Tabla 2.5

### 2.2.2 Impactos a nivel global

La producción mundial de soja en 1996 fue de 130,2 millones de toneladas. El incremento anual acumulado para el período 1996-2011, por encima de esa cifra, fue de 959,1 millones de toneladas. Considerando que el aumento acumulado de producción de soja en Argentina, atribuible a la disponibilidad de la tecnología GM, fue de 216,1 millones de toneladas (Tabla 2.6), la adopción de esa tecnología en nuestro país explicaría el 22,53% del total de la expansión mundial. Pero ¿cuál ha sido el impacto que este volumen adicional de oferta de grano de soja ha tenido sobre el precio internacional del mismo?

El impacto a nivel global de la adopción de los materiales de soja GM en Argentina ha sido muy significativo. En la Tabla 2.6 se presenta la evolución del aporte del incremento de la producción nacional atribuible a este paquete tecnológico y se estima el efecto precio sobre los valores efectivamente observados. Es decir, se contrastó contrafácticamente el vector de precios FOB promedio Puertos Argentinos registrados para el período bajo análisis (1996-2011) con los estimados según el procedimiento descrito en el Anexo II. Expresado en términos de ahorro en el gasto de los consumidores, el total acumulado para el período 1996-2011 alcanza los 89.000 millones de dólares. Esta cifra debería ser sumada al beneficio bruto en Argentina estimado en una sección anterior (65.436 millones de dólares)<sup>2</sup>, llegando así a un agregado, para el impacto

<sup>2</sup> De acuerdo a Trigo y Cap (2006), los incrementos en productividad de los rubros que redujeron su superficie por la expansión de la soja, compensaron en exceso la reducción de área, por lo que el beneficio bruto puede equipararse aproximadamente al beneficio neto.

total de la tecnología GM en soja a partir de su disponibilidad en nuestro país, de 154.433,52 millones de dólares.

**Tabla 2.6. Evolución de la producción mundial, la oferta argentina adicional por la soja GM, impacto porcentual sobre el precio internacional y reducción en el gasto de los consumidores a nivel global**

<b>Campaña</b>	<b>Producción Total Mundial (Toneladas)</b>	<b>Δ Producción por GM en Argentina (Toneladas)</b>	<b>Precio FOB (USD/t)</b>	<b>Impacto sobre el precio de Soja (%)</b>	<b>Δ Gasto del Consumidor (M USD)</b>
<b>1996/97</b>	130.209.870	774.870	296,50	-0,74	-280,24
<b>1997/98</b>	144.412.830	2.512.725	221,83	-2,17	-970,54
<b>1998/99</b>	160.098.390	3.842.527	175,33	-3,00	-1.088,72
<b>1999/00</b>	157.800.470	4.935.955	187,42	-3,91	-1.028,32
<b>2000/01</b>	161.405.690	7.897.136	171,50	-6,12	-1.895,31
<b>2001/02</b>	177.935.970	10.157.698	198,00	-7,14	-2.014,61
<b>2002/03</b>	181.735.440	13.230.491	238,42	-9,10	-2.927,25
<b>2003/04</b>	190.595.630	13.209.410	268,08	-8,66	-3.649,10
<b>2004/05</b>	206.461.490	17.385.401	230,67	-10,53	-6.454,33
<b>2005/06</b>	214.347.289	19.725.414	225,56	-11,39	-5.656,36
<b>2006/07</b>	236.233.000	22.987.589	270,33	-12,16	-7.767,89
<b>2007/08</b>	220.406.000	23.688.477	486,00	-13,43	-14.390,75
<b>2008/09</b>	211.964.000	16.699.679	424,67	-9,85	-8.864,75
<b>2009/10</b>	260.270.000	29.696.480	362,67	-14,26	-13.462,40
<b>2010/11</b>	258.402.000	29.361.930	505,33	-14,20	-18.546,95
<b>Total 1996-2011</b>	<b>2.912.278.069</b>	<b>216.105.782</b>			<b>-88.997,52</b>

Fuente: Elaboración propia en base a datos de USDA (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Estimaciones Oficiales), MAGyP y corridas de simulación SIGMA v. 2.0 (2011)

## 2.3 Los maíces GM. Un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1998-2011)<sup>3</sup>

### 2.3.1 Beneficios del maíz resistente a insectos lepidópteros (Bt)

En Trigo y Cap (2006) se describe el enfoque metodológico y se detallan los supuestos empleados para estimar los beneficios de la adopción de la tecnología Bt en maíz. En particular, se considera que el beneficio de la adopción de la tecnología Bt consiste en la prevención de las pérdidas en rendimiento causadas por el ataque de ciertas plagas, principalmente *Diatraea saccharalis* (barrenador del tallo) y *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero), en su estado larval. Es decir, el resultado final neto de la interacción cultivo-plaga-germoplasma Bt es una variable estocástica y, por lo tanto, la modelización de su impacto es más compleja que en un caso determinístico, como sería la mejora en indicadores de productividad, una reducción de costos o un incremento del rendimiento, donde el componente aleatorio está asociado casi exclusivamente con el “riesgo climático”, esto es, con temperaturas por un lado y época y volumen de precipitaciones pluviales, por el otro.

Ianonne (2002) estimó que, para la región maicera, el nivel de daño varía entre 10 y 50%, dependiendo de la severidad del ataque y de la época de siembra (cuanto más tardía, mayor incidencia de daño, y alcanzando el nivel máximo en los cultivos de segunda). En el trabajo citado, el autor estimó que las pérdidas anuales en la región pampeana alcanzan los 170 millones de dólares.

### 2.3.2 Beneficios del maíz resistente a lepidópteros y tolerante a herbicida (Bt+TH)

En el caso de los materiales con eventos acumulados Bt + TH, se suma a los efectos del maíz Bt descriptos en la sección anterior, una reducción de costos de 20 USD/ha.

### 2.3.3 Resumen de impactos del maíz Bt y del maíz Bt+TH

Los maíces con eventos acumulados Bt+TH representan una mejora sobre los que contienen sólo eventos simples Bt y, por lo tanto, a partir de la campaña 2007/2008, se ha manifestado un proceso de sustitución del maíz Bt por los maíces Bt+TH, manteniendo los beneficios del simple. Considerando las restricciones del modelo de simulación SIGMA, en el sentido de suponer irreversible el proceso de adopción de una tecnología superadora del estado del arte preexistente, fue necesario introducir un coeficiente de ajuste sobre el área estimada con Bt para las campañas 2007/2008 - 2010/2011, de manera de no sobreestimar el impacto de la disponibilidad de ambas tecnologías y hacer que los resultados de las corridas en área sembrada con cada una fueran coincidentes con los reportados por ArgenBio.

En la Tabla 2.7 se presentan la evolución de los beneficios brutos generados por la adopción de las tecnologías Bt y Bt+TH en maíz, así como la distribución de los mismos entre el sector de los productores, los proveedores de insumos asociados con las tecnologías (semilla y herbicida) y el Estado Nacional (ingresos por derechos de exportación) (ver también Gráfico 2.3).

---

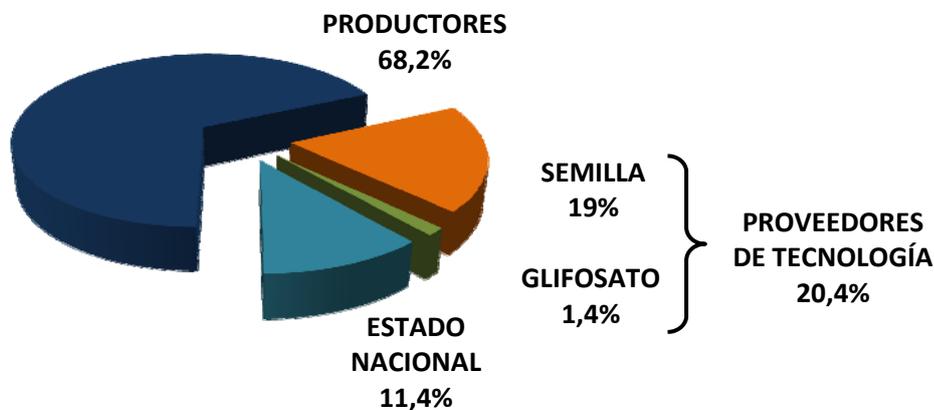
<sup>3</sup> En este estudio se analizan solamente los maíces Bt y Bt+TH, ya que la adopción de los maíces con eventos simples de TH ha sido poco significativa y su utilidad rápidamente superada por los híbridos con eventos acumulados Bt+TH.

**Tabla 2.7. Evolución y distribución de beneficios de la adopción de los maíces Bt y Bt+TH**

Campaña	Beneficio Bruto Total (M USD)	Área con Maíz Bt y Bt+TH (ha)	Beneficio Neto (M USD)			
			Productores	Proveedores de Tecnología		Estado
	Semilla (*)	Glifosato				
1998/99	8	113.738	5,3	2,3	-	0,0
1999/00	17	270.884	11,2	5,4	-	0,0
2000/01	32	557.665	20,6	11,2	-	0,0
2001/02	48	944.280	43,7	4,7	-	0,0
2002/03	72	1.315.787	33,9	23,7	-	14,4
2003/04	95	1.574.408	36,3	39,4	-	18,9
2004/05	119	1.713.267	36,8	58,3	-	23,8
2005/06	92	1.777.478	20,4	53,3	-	18,4
2006/07	595	2.409.521	402,8	94,0	-	98,1
2007/08	1.131	3.169.328	787,4	180,7	14,2	148,9
2008/09	673	2.621.191	365,6	196,6	28,2	82,9
2009/10	788	2.975.404	479,2	169,6	17,1	122,2
2010/11	1.706	3.176.327	1.422,0	181,1	16,5	86,7
<b>Total</b>	<b>5.375</b>		<b>3.665</b>	<b>1.020</b>	<b>76</b>	<b>614</b>
<b>Distribución porcentual</b>			<b>68,2%</b>	<b>19%</b>	<b>1,4%</b>	<b>11,4%</b>

(\*) El beneficio a los proveedores de semilla se computó en base a la diferencia de precio de la semilla GM con la de un híbrido convencional, es decir, el costo directo adicional por hectárea asociado con la adopción de la nueva tecnología disponible. Fuente: Elaboración propia en base a datos de Márgenes Agropecuarios, MAGyP, Comtrade y corridas de simulación en SIGMA v2.2 (2011)

**Gráfico 2.3. Distribución de los beneficios acumulados resultantes de la adopción de los maíces Bt y Bt+TH**



**Beneficio Total Acumulado 1998-2011: 5.375 Millones de Dólares**

Fuente: Tabla 2.7

## **2.4 El algodón GM. Un análisis retrospectivo de impactos de su adopción (1998-2011)**

Debido a las limitaciones del modelo SIGMA para reproducir cambios no tendenciales en el área dedicada a una actividad, como ha sido el caso del algodón en los últimos 13 años (a consecuencia de la volatilidad de precios, la fuerte competencia de la soja GM, la ocurrencia de inundaciones, etc.), el análisis fue abordado formulando un supuesto fuertemente simplificador de la realidad: el área con algodón se mantuvo en 400 mil hectáreas a lo largo del período estudiado. De todas maneras, se entiende que aún con esa restricción, los resultados de la simulación de los senderos de adopción de las tecnologías Bt y TH se aproximan a la realidad observada a campo y, de existir errores (como probablemente sea el caso), el carácter conservador de los parámetros ingresados en el modelo garantizan que no sean de sobrestimación de impactos sino en el sentido contrario.

Por otro lado, el reducido período de tiempo transcurrido desde la disponibilidad de los materiales con eventos acumulados (Bt+TH) a partir de la campaña 2008/2009, hizo desaconsejable el análisis *ex-post* del impacto de su adopción, caracterizada, al igual que en el caso del maíz, por una rapidísima sustitución de los eventos simples por los acumulados. Por lo tanto, se optó por no considerar la disponibilidad de las variedades con eventos acumulados Bt+TH y se procedió a simular la continuidad de los senderos de adopción de los eventos individuales y finalmente se sumaron sus impactos, entendiendo que los valores así estimados no difieren de manera significativa de los generados por la adopción de los materiales con eventos acumulados.

### **2.4.1 Beneficios del algodón resistente a lepidópteros (Bt)**

Se trabajó con el supuesto de que la adopción de las variedades Bt incrementa el rendimiento en un 30%, en línea con las estimaciones de Elena (2001).

### **2.4.2 Beneficios del algodón TH**

Se formuló el supuesto de que la adopción de los materiales TH reduce el costo de producción en 30 USD/ha como efecto del ahorro en herbicidas, neto de la diferencia de precio de la semilla.

### **2.4.3 Resumen de los impactos del algodón Bt y del algodón TH**

En la Tabla 2.8 se presentan, consolidadas, la evolución del área sembrada con algodón GM, así como la de los beneficios resultantes atribuibles a la adopción de estas tecnologías para el período de análisis (1998-2011 para Bt, 2002-2011 para TH, y 2008-2011 para Bt+TH, que reemplazó casi completamente a las anteriores), y la distribución de los beneficios entre productores y proveedores de tecnología.

**Tabla 2.8. Evolución y distribución de beneficios del algodón Bt y TH**

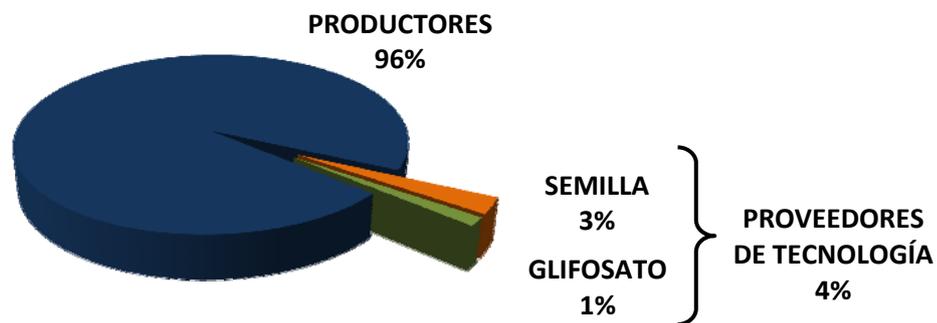
Campaña	Beneficio Bruto Total (M USD)	Área con Algodón Bt y TH (ha)	Beneficio Neto (M USD)		
			Productores	Proveedores de Tecnología	
				Semilla (*)	Glifosato
1998/99	0,09	271	0,08	0,01	-
1999/00	0,34	745	0,33	0,01	-
2000/01	0,81	2.033	0,77	0,04	-
2001/02	1,69	5.449	1,58	0,11	-
2002/03	6,62	14.097	6,34	0,28	-
2003/04	17,09	71.163	15,05	1,34	0,70
2004/05	30,19	147.811	24,93	2,78	2,48
2005/06	63,60	252.835	53,72	4,75	5,12
2006/07	119,06	354.975	109,80	6,67	2,59
2007/08	202,72	426.440	190,36	8,01	4,35
2008/09	206,86	464.948	192,18	8,74	5,94
2009/10	425,06	482.909	413,09	9,07	2,90
2010/11	760,19	491.271	748,44	9,23	2,53
<b>Total</b>	<b>1.834,32</b>		<b>1.756,66</b>	<b>51,05</b>	<b>26,62</b>
<b>Distribución porcentual</b>			<b>96%</b>	<b>3%</b>	<b>1%</b>

(\*) Para la estimación de los beneficios a proveedores de semilla se computó el 34% del valor de la semilla certificada, para capturar el efecto de la bolsa blanca (estimada en 66 % del área implantada). Los costos de semilla computados para algodón Bt y algodón TH ascienden a 59,02 y 52 dólares/ha, estimados como los diferenciales de precio entre el costo de la semilla convencional -15,95 dólares/ha- y el costo de las semillas Bt -74,98 dólares/ha- y TH -67,95 dólares/ha-, respectivamente.

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de corridas SIGMA, datos del Consejo Económico y Social de la Provincia del Chaco, Banco Central de la República Argentina y Cueto Rúa, P. (2006), comunicación personal.

En el Gráfico 2.4 se presenta el resultado de la distribución de beneficios brutos generados por la adopción de tecnologías GM en algodón, entre el sector productor y los proveedores de los insumos asociados con dichas tecnologías (semilla y herbicida), acumulados en el período 1998-2011, para el algodón Bt y 2002-2011, para el TH. No se ha incluido al Estado Nacional entre los beneficiarios dado que al no haber beneficios directos por incremento del volumen producido atribuibles a los materiales GM, no se registraron aumentos en los ingresos fiscales (aunque se podría argumentar que la reducción de costos pudo ampliar marginalmente el área cultivada, pero la magnitud del impacto sería muy pequeña).

**Gráfico 2.4. Distribución de los beneficios acumulados resultantes de la adopción de los algodones Bt y TH**



**Beneficio Total Acumulado 1998-2011: 1.834 Millones de Dólares**

Fuente: Tabla 2.8

## 2.5 Resumen de los beneficios económicos y sobre la generación de empleo de los cultivos GM (1996-2011)

### 2.5.1 Resumen de los beneficios económicos de los cultivos GM

La Tabla 2.9 resume los beneficios económicos derivados de la adopción de los cultivos GM en Argentina en el periodo 1996-2011.

**Tabla 2.9. Resumen del impacto de la adopción de cultivos GM en la agricultura argentina en el período 1996/1997 - 2010/2011**

<b>Impacto a Nivel Nacional</b>	<b>Millones de Dólares</b>
Soja GM	65.435,81
Maíz GM	5.375,38
Algodón GM	1.834,32
<b>Total Nacional</b>	<b>72.645,52</b>
<b>Impacto a Nivel Global</b>	
Ahorro en el gasto del consumidor	88.997,52
<b>Total</b>	<b>161.643,04</b>

Fuente: Tablas 2.4, 2.6, 2.7 y 2.8

### 2.5.2 Impacto económico indirecto a nivel nacional: generación de empleos

En esta sección se actualiza la estimación realizada en un trabajo anterior (Trigo y Cap, 2006), pero introduciendo una modificación metodológica en el abordaje que no modifica los supuestos que se formularon en esa ocasión. El más significativo de esos supuestos se refiere a que, por cada dólar adicional en bienes generado por la adopción de materiales GM (valuados a precio de frontera, esto es, precio FOB puertos argentinos), se genera otro dólar en el capítulo servicios (transporte, almacenaje, etc.).

El procedimiento de cálculo, cuyos resultados se presentan resumidos en la Tabla 2.10, fue el siguiente: a partir de los valores de PBI a precios de mercado (INDEC, 2011), para cada uno de los años del período bajo análisis (1996-2010) se estimó el “costo” en términos de PBI de un empleo, partiendo de un stock de 10 millones en 1996 con un incremento anual acumulativo de 330 mil empleos adicionales, pero restando 500 mil y 1 millón de empleos en 2001 y 2002, respectivamente, para emular el impacto de la crisis previa y posterior a la salida de la convertibilidad. Ese valor, expresado en pesos, fue convertido a dólares (1 a 1 desde 1996 hasta 2001 inclusive y, a partir de 2002, en base al promedio anual del tipo de cambio dólar/peso publicado por el Banco Central de la República Argentina -BCRA). Finalmente, se tomó el valor bruto de la producción adicional (VBP) estimado para cada año como consecuencia de la

adopción de los materiales GM (ver Tablas 2.4, 2.7 y 2.8), multiplicado por dos y se lo dividió por el “costo” estimado de un empleo para cada año y el resultado fue considerado una aproximación al aporte de estas tecnologías a la generación de empleos durante los 15 años estudiados. El total acumulado resultante de este ejercicio alcanza a 1.817.331 empleos. De resultar correcto el cálculo y admitiendo la validez de los supuestos simplificadores que fueron formulados, durante los años más críticos (2001 y 2002), el impacto de la adopción de esta tecnología contribuyó a morigerar el desempleo (58 mil empleos generados en 2001 y 253 mil en 2002). De la misma manera, las consecuencias de la fuerte caída del volumen producido en 2008, como consecuencia de la sequía, se tradujo en una pérdida de empleos significativa (371 mil), aunque el resultado neto haya sido positivo ese año por el dinamismo de otros sectores de la economía. Es probable que el sector construcción haya sido el receptor más expuesto, tanto a los impactos positivos de 2001 y 2002, como al negativo de 2008.

**Tabla 2.10. Correlación entre crecimiento del PBI, beneficios de los materiales GM y generación de empleo**

Año	PBI a precios de mercado* (M \$)	Beneficio Bruto Total materiales GM (M USD)	Cotización Dólar ** (\$/USD)	\$/Empleo	USD/Empleo	Empleos generados por la adopción de materiales GM
1996	272.150	200,21	1,00	26.345,57	26.345,57	15.199
1997	292.859	517,99	1,00	26.647,76	26.647,76	23.851
1998	298.948	659,04	1,00	25.660,80	25.660,80	10.993
1999	283.523	958,34	1,00	23.031,93	23.031,93	25.991
2000	284.204	1.297,58	1,00	21.912,39	21.912,39	30.963
2001	268.697	1.899,44	1,00	20.464,33	20.464,33	58.820
2002	312.580	2.941,60	3,09	25.433,70	8.226,53	253.367
2003	375.909	3.216,77	2,94	31.456,85	10.694,46	51.459
2004	447.643	4.077,27	2,94	35.499,08	12.071,78	142.565
2005	531.939	4.571,29	2,92	40.085,81	13.718,62	72.021
2006	654.439	6.973,68	3,07	46.980,54	15.284,85	314.350
2007	812.456	12.014,15	3,11	55.685,80	17.888,15	563.554
2008	1.032.758	8.037,29	3,16	67.721,85	21.437,75	-371.014
2009	1.145.458	10.685,47	3,73	71.996,12	19.320,90	274.126
2010	1.442.655	14.595,40	3,91	87.064,30	22.273,25	351.087
<b>Empleos generados en 15 años (1996-2010)</b>						<b>1.817.331</b>

\*INDEC

\*\*BCRA

Fuente: Elaboración propia en base a datos de INDEC, BCRA y resultados de corridas de simulación SIGMA (2011).

### **CAPÍTULO 3**

## **EVENTOS AÚN NO APROBADOS EN ARGENTINA: UN ANÁLISIS PROSPECTIVO DE IMPACTOS DE SU ADOPCIÓN (2011-2022)**

En el Capítulo precedente se evaluaron los impactos directos nacionales y, en algunos casos, indirectos y globales, de la disponibilidad y adopción de variedades de soja, maíz y algodón con eventos GM en Argentina. En este Capítulo se presenta un ejercicio de prospectiva para estimar el impacto potencial de la eventual liberación comercial y adopción de materiales de soja con eventos acumulados de resistencia a insectos y tolerancia a herbicida, Bt+TH (en particular MON 87701 X MON 89788, también llamado RR2Y+Bt) y de trigo con tolerancia a sequía (TS).

Para hacer las corridas de simulación se recurrió al modelo matemático SIGMA, en su versión *ex-ante* (ver Anexo I). En todos los casos se definieron escenarios alternativos para considerar un amplio espectro de situaciones que podrían plantearse durante el horizonte de simulación (10 años), tanto en la dinámica de los senderos de adopción por parte de los productores, como en el comportamiento de los mercados internacionales (precios de los commodities).

En todos los escenarios definidos se ingresó un único valor representativo de la variable agronómica asociada con mejoras en la productividad (por aumento de rendimiento y/o por reducción de pérdidas de origen biótico o abiótico). Las fuentes de esta información fueron informantes calificados del desempeño de estos materiales a campo en los ensayos correspondientes. Cuando los datos incluían un rango de mejora, invariablemente se introdujo el valor menor, de manera de minimizar el riesgo de sobreestimación de impactos potenciales. Esto es, si en la realización (futura) de los parámetros agronómicos se observaran desvíos, el resultado final sería en el sentido del aumento de la magnitud de los mismos (si fuera el caso, las estimaciones *ex-ante* habrán subestimado los beneficios de la disponibilidad y adopción de los materiales GM bajo estudio).

### 3.1 La soja resistente a lepidópteros y tolerante a glifosato (Bt+TH)

#### 3.1.1 Beneficios de la adopción de la tecnología Bt+TH

El supuesto básico de las corridas de simulación *ex-ante* consiste en un incremento del 10% en el rendimiento de la soja Bt+TH en comparación con la soja TH (evento GTS 40-3-2, analizada en el capítulo 2).

#### 3.1.2 Resumen de los impactos

Se construyeron tres escenarios, conservador, moderado y optimista, empleando los mismos parámetros y variables de la sección anterior. En la Tabla 3.1 se presenta un resumen de los valores asignados a las variables que definen los escenarios.

**Tabla 3.1. Soja Bt+TH: Escenarios Conservador, Moderado y Optimista**

Escenario	Nivel Tecnológico	Tiempo medio de adopción de la soja Bt+TH (años)	Techo de adopción de la soja Bt+TH (% del área)	Tasa Anual de Expansión del Área Sembrada (%)	Precio (USD/t)
Conservador	Bajo	6	60	0	300
	Medio	5	70		
	Alto	4	90		
Moderado	Bajo	5	70	1,5	400
	Medio	4	80		
	Alto	3	100		
Optimista	Bajo	4	80	3,5	500
	Medio	3	90		
	Alto	2	100		

Fuente: Elaboración propia.

En las Tablas 3.2 y 3.3 se presentan los resultados de los impactos esperados para cada uno de los tres escenarios definidos anteriormente, en términos de la evolución del incremento de la producción, atribuible a la adopción de la tecnología y del beneficio bruto para el período bajo análisis, respectivamente.

**Tabla 3.2. Estimación del beneficio bruto por el incremento de la producción en el período 2011/12-2021/22 atribuible a la adopción de la soja Bt+TH en tres escenarios**

Campaña	Beneficio Bruto por Incremento de la Producción (M USD)		
	Conservador	Moderado	Optimista
2011/12	-	-	-
2012/13	37,3	159,2	483,0
2013/14	95,2	368,7	983,9
2014/15	222,7	724,6	1.620,1
2015/16	447,6	1.175,7	2.206,5
2016/17	734,7	1.582,7	2.614,5
2017/18	991,0	1.854,4	2.859,3
2018/19	1.156,6	2.004,9	3.011,6
2019/20	1.241,8	2.086,8	3.123,9
2020/21	1.281,6	2.138,2	3.221,6
2021/22	1.301,1	2.177,6	3.315,5
<b>Total 2011/12 - 2021/22</b>	<b>7.509,6</b>	<b>14.272,9</b>	<b>23.440,0</b>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de corridas de simulación SIGMA v.2.0 (2011)

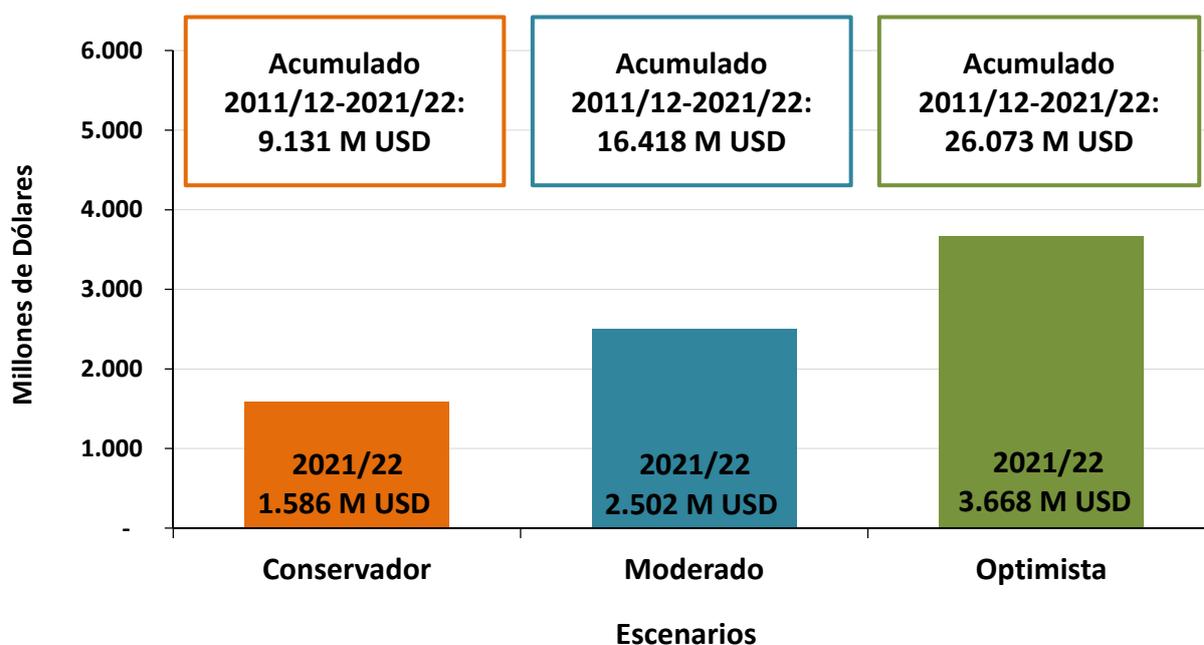
**Tabla 3.3. Estimación del beneficio bruto por la reducción de costos de producción en el período 2011/12-2021/22 atribuible a la adopción de la soja Bt+TH, en tres escenarios**

Campaña	Beneficio Bruto por Reducción de Costos de Producción (M USD)		
	Conservador	Moderado	Optimista
2011/12		-	
2012/13	7,4	21,3	53,1
2013/14	19,1	50,7	109,5
2014/15	45,3	103,9	185,3
2015/16	92,7	174,3	256,9
2016/17	155,1	239,9	305,3
2017/18	212,9	283,8	330,7
2018/19	251,5	306,8	342,3
2019/20	271,6	317,3	347,6
2020/21	280,8	322,2	350,4
2021/22	285,1	324,7	352,1
<b>Total 2011/12 - 2021/22</b>	<b>1.621,6</b>	<b>2.145,0</b>	<b>2.633,2</b>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de corridas de simulación SIGMA v.2.0 (2011)

En el Gráfico 3.1 se presentan los resultados consolidados (beneficios brutos por incremento de la producción + reducción de costos) de los tres escenarios definidos al inicio de la sección. Las cifras sobre las barras corresponden a los valores del último año del horizonte de simulación (campana 2021/2022) y, en la parte superior del gráfico, los beneficios acumulados a lo largo del período 2011/2012-2021/2022.

**Gráfico 3.1. Beneficio Bruto por incremento de la producción y reducción de costos por la adopción de la soja Bt+TH**



Fuente: Tablas 3.2 y 3.3

### 3.2 Trigo tolerante a sequía (TS)

#### 3.2.1 Beneficios de la adopción de la tecnología

El beneficio esperado de la adopción de variedades de trigo TS consiste en una reducción del 28 % de las pérdidas esperables como consecuencia de una alteración en el régimen pluviométrico durante el ciclo de cultivo, compatible con una sequía. Se formuló el supuesto de que esta contingencia climática desfavorable se va a dar cada 5 años en el período bajo análisis (2011-2022).

#### 3.2.2 Resumen de los impactos

Se construyeron tres escenarios, conservador, moderado y optimista, empleando los mismos parámetros y variables de la sección anterior. En la Tabla 3.4 se presenta un resumen de los valores asignados a las variables que definen los escenarios.

**Tabla 3.4. Trigo TS: Escenarios Conservador, Moderado y Optimista**

Escenario	Nivel Tecnológico	Tiempo medio de adopción del Trigo TS (años)	Techo de adopción del Trigo TS (% del área)	Precio (USD/t)
Conservador	Bajo	6	60	150
	Medio	5	70	
	Alto	4	90	
Moderado	Bajo	5	70	250
	Medio	4	80	
	Alto	3	100	
Optimista	Bajo	4	80	350
	Medio	3	90	
	Alto	2	100	

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 3.5 se presentan los resultados de los impactos esperados para cada uno de los tres escenarios definidos anteriormente, en términos del beneficio bruto por el incremento de la producción, atribuible a la adopción de la tecnología para el período bajo análisis.

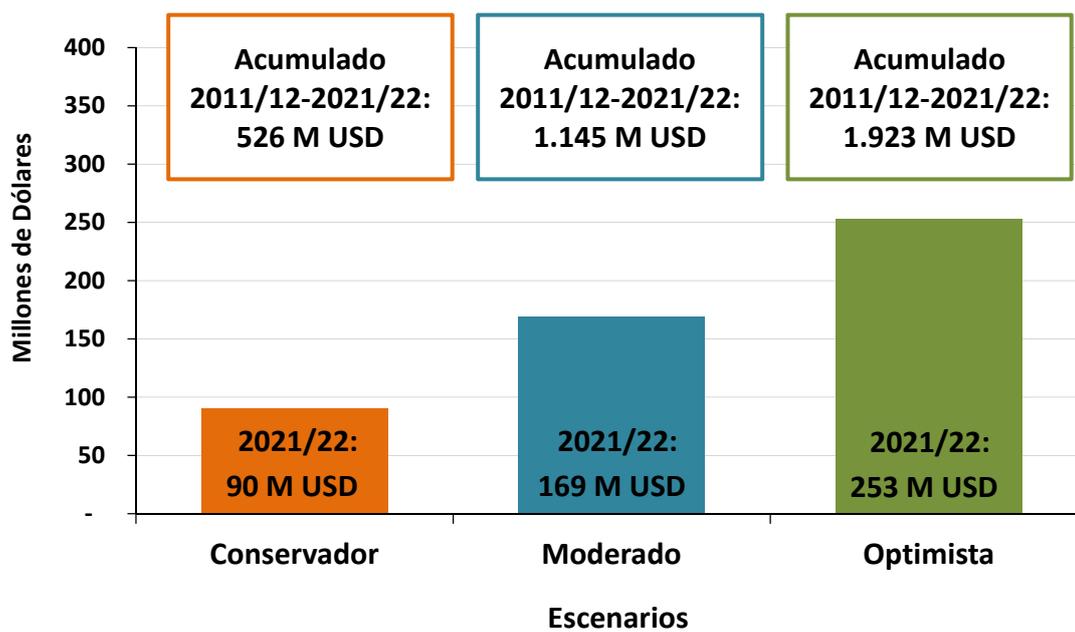
**Tabla 3.5. Estimación del beneficio bruto por el incremento de la producción en el período 2011/12-2021/22 atribuible a la adopción del trigo TS, en tres escenarios**

Campaña	Beneficio Bruto por Incremento de la Producción (M USD)		
	Conservador	Moderado	Optimista
2011/12			-
2012/13	2,8	13,0	43,6
2013/14	7,1	30,4	87,5
2014/15	16,5	60,4	142,5
2015/16	32,6	97,5	191,0
2016/17	52,4	129,7	222,1
2017/18	69,6	150,2	238,1
2018/19	80,4	160,6	245,5
2019/20	85,9	165,5	249,1
2020/21	88,5	167,9	251,2
2021/22	89,8	169,3	252,7
<b>Total 2011/12 - 2021/22</b>	<b>525,6</b>	<b>1.144,6</b>	<b>1.923,2</b>

Fuente: Elaboración propia en base a resultados de corridas de simulación SIGMA v.2.0 (2011)

En el Gráfico 3.2 se presentan los resultados (beneficios brutos por incremento de la producción) de los tres escenarios definidos al inicio de la sección. Las cifras sobre las barras corresponden a los valores del último año del horizonte de simulación (campaña 2021/2022) y, en la parte superior del gráfico, los beneficios acumulados a lo largo del período 2011/2012-2021/2022.

Gráfico 3.2. Beneficio Bruto del incremento de la producción por la adopción del trigo TS



Fuente: Tabla 3.5

## CAPÍTULO 4

### ALGUNOS IMPACTOS AMBIENTALES DE LAS NUEVAS TECNOLOGÍAS

La Argentina ha vivido una verdadera revolución agraria en las últimas dos décadas, y todo proceso de cambio socio-productivo de la magnitud del que ocurrió en este país en ese período, tiene claroscuros. En este caso los “claros” son, claramente (valga la redundancia), de carácter económico. Las magnitudes están más allá de toda discusión y podríamos resumirlas en las siguientes preguntas: ¿es posible imaginar la Argentina actual sin los beneficios económicos de estas tecnologías? ¿Es posible imaginar un mercado de trabajo sin la dinámica virtuosa de la expansión agraria que estas tecnologías posibilitaron? Los claros también aparecen en lo que significa la interacción y sinergia de las tecnologías GM y las prácticas de siembra directa, que han puesto al país, también, a la cabeza de los avances de lo que hoy se ha dado en llamar la “intensificación sostenible”. Los “oscuros” de esta ecuación están en las legítimas preocupaciones sobre la sostenibilidad de los modelos productivos que se han instalado en el país. Esta sección trata estos aspectos.

#### 4.1 Las sinergias entre tecnologías GM y las prácticas de siembra directa

La expansión en el cultivo de variedades GM en la Argentina se ha dado, tal como se mencionó en el Capítulo 2, *pari passu*, con una fenomenal expansión de la práctica de la siembra directa (SD). Esto tiene un particular significado desde el punto de vista del impacto ambiental, ya que permitió, por una parte, revertir las consecuencias negativas sobre la estructura y función de los suelos de la pradera pampeana resultantes de la roturación con arado como parte de las prácticas agrícolas prevalecientes hasta los inicios de la década de 1980 (Viglizzo et. al, 2010), y por otra parte, incrementar de manera significativa los estándares de eficiencia en el balance energético de la producción agrícola (Pincen et al, 2010).

La SD comenzó a ganar importancia en la agricultura argentina a fines de los ‘80, debido a que en muchas de las zonas más importantes de la región pampeana los efectos acumulativos de la erosión del suelo, resultantes de la “agriculturalización”<sup>4</sup> sobre la base de prácticas tradicionales de laboreo, ya comenzaban a manifestarse negativamente en los resultados operativos de la explotación. Este efecto sobre los rendimientos y, a través de éstos, sobre la propia viabilidad económica de la agricultura, junto con una mayor disponibilidad de maquinaria agrícola propia (como resultado de los procesos de desregulación y apertura de la economía) y la reducción de los costos directos (producto de la eliminación de tareas de laboreo), fueron una plataforma óptima para la difusión de la SD y para recuperar, en parte al menos, la productividad perdida.

La sinergia con la soja tolerante a herbicida se da como consecuencia de que las prácticas de laboreo directo, al acortar el tiempo requerido entre la cosecha de trigo y la siembra de soja, hace factible el empleo exitoso de variedades de soja de ciclo corto como cultivo de segunda, y viabiliza un planteo trigo-soja de segunda en zonas donde no era agrónomicamente factible. Este efecto ha sido, sin duda, uno de los principales determinantes económicos de los cambios en los comportamientos productivos de muchos de los productores, y se vio potenciado (hacia finales

---

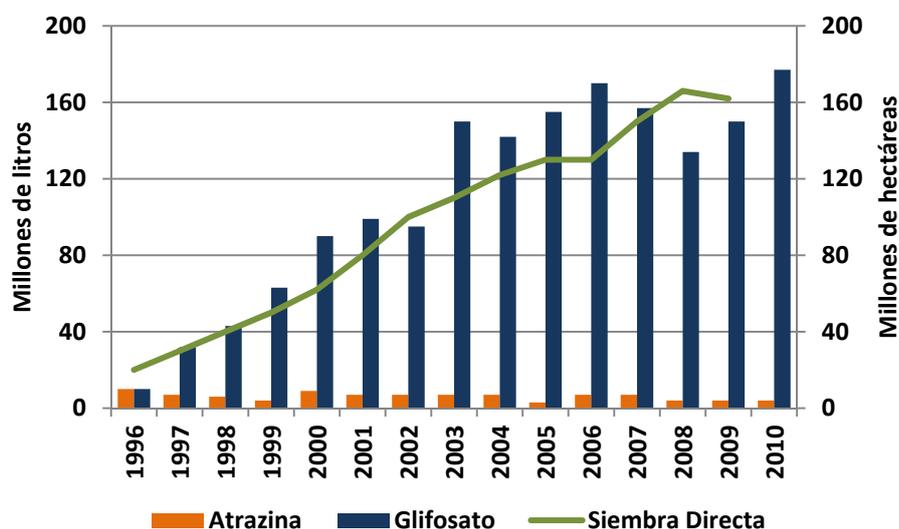
<sup>4</sup> Se entiende como “agriculturalización” a la sustitución de la agricultura en forma permanente, en lugar de las rotaciones agrícola-ganaderas, que fue la estrategia productiva dominante en la Argentina hasta mediados de la década de 1970.

de los '90 y comienzos de los años 2000) por la acelerada reducción del precio del glifosato, que pasó de alrededor de 10 dólares el litro a principios de los '90, a menos de 3 dólares en el año 2000. Esto se ha reflejado claramente en la evolución del área bajo siembra directa, la cual pasó de unas 300 mil ha en 1990/1991, a cerca de 25 millones de has. en la actualidad (para una discusión *in extenso* de este proceso, ver Trigo et. al. 2010).

La combinación SD + soja tolerante a herbicida integra dos conceptos tecnológicos: nuevas tecnologías mecánicas que modifican la interacción del cultivo con el recurso suelo y el uso de un herbicida total (glifosato, que genera un menor impacto ambiental que otros herbicidas) altamente efectivo para controlar todo tipo de malezas y sin poder residual.<sup>5</sup> La utilización de tecnologías mecánicas y el uso de herbicidas totales implican una mayor intensidad en el uso de insumos, lo cual usualmente se describe como una intensificación “dura”. Sin embargo, como puede verse en el Gráfico 4.1, esta intensificación “dura” es, al mismo tiempo, “amigable” desde el punto de vista ambiental, porque ha conducido, en forma paralela, a una reducción en términos nominales del consumo de otros herbicidas, como la atrazina, que poseen mayor poder residual.

Es difícil encontrar un número que cuantifique la magnitud del beneficio que representa esta sinergia entre la soja tolerante a herbicida y la siembra directa, pero en el cálculo no puede ignorarse su impacto potencial sobre la recuperación de fertilidad de los suelos y, por ende, sobre la productividad actual y futura, así como algunas otras externalidades positivas, como su contribución a la mitigación del efecto invernadero. Desde el punto de vista de la recuperación del contenido de materia orgánica de los suelos, Casas (2005) indica que en sistemas de SD con rotación de cultivos que incluyen trigo, maíz o sorgo, las pérdidas de suelos anuales son inferiores a 2 ton/ha, muy por debajo de lo que se considera el máximo tolerable (10 ton/ha), y los promedios bajo otros tipos de prácticas de manejo.

**Gráfico 4.1. Evolución del área sembrada con siembra directa y tipo de herbicidas utilizados**



Fuente: AAPRESID y CASAFA

<sup>5</sup> De acuerdo con Pincen et al (2010), la persistencia del glifosato en el suelo varía entre 12 y 60 días y presenta un bajo riesgo de contaminación de aguas subterráneas. Los efectos tóxicos que produce en animales son leves. No bioacumula en tejidos animales.

Aparte de los beneficios derivados de la mayor sustentabilidad de los niveles de producción por recuperación de la fertilidad de los suelos, el paquete soja GM + siembra directa tiene otro tipo de beneficios ambientales en términos de consumo de combustibles, emisiones y secuestro de carbono, que es importante referir. De acuerdo a Brookes y Barefoot (2011), entre 1996 y 2009 el consumo total de combustibles en el cultivo de soja aumentó en unos 201,3 millones de litros (95,1%), pasando de 211,6 a 412,9 millones de litros por año, pero el promedio de consumo por hectárea se redujo en un 38% al pasar de 35,8 a 22,2 litros/ha, lo cual permitió reducir las emisiones de dióxido de carbono en unos 5.185 millones de kg con respecto a las que se hubiesen emitido si los niveles de producción de 2009 hubiesen sido sobre la base de prácticas convencionales. En términos anuales esto significa la utilización de 13,5 millones de litros de combustible menos que los que hubiesen sido necesarios bajo prácticas convencionales.

Los autores referidos reportan efectos similares con respecto al impacto en términos del secuestro de carbono que resulta de la aplicación de prácticas de labranza cero o reducida. Aún cuando se reconoce que los datos correspondientes a la Argentina son bastante imprecisos, utilizando indicadores conservadores como pueden ser los 100 kg/carbono/ha/año para estas prácticas, los autores estiman que el acumulado resultante puede alcanzar los 13,817 millones de kg de carbono, que son equivalentes a retener en el suelo 50.707 millones de kg de dióxido de carbono.

#### **4.2 Otros beneficios relacionados con la salud humana y ambiental**

A los aspectos mencionados cabe adicionar otros beneficios de los cultivos GM asociados con el uso de fitosanitarios. En este sentido, el glifosato pertenece, dentro de la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (1988), al grupo de herbicidas de toxicidad clase IV (“prácticamente no tóxicos”), y según datos de 2001, la introducción de la soja tolerante a glifosato, si bien significó un aumento en el uso de este herbicida – tanto en volumen total como en número de aplicaciones – también significó una disminución sustantiva de la cantidad aplicada de herbicidas de mayor toxicidad e impacto ambiental (Qaim y Traxler, 2002).<sup>6</sup> En línea con esto, Brookes y Barfoot (2011) compararon los niveles de herbicidas requeridos para obtener, usando sistemas convencionales, un control de malezas equivalente al que se logra con las variedades GM tolerantes a herbicida. Del análisis surge que los sistemas basados en las variedades GM y en las prácticas de siembra directa, usan cantidades de herbicidas algo mayores que las alternativas convencionales (2,68 kg/ha comparados con 2,53 kg/ha, respectivamente). Sin embargo, en cuanto al impacto ambiental de este uso, medido como Cociente de Impacto Ambiental (EIQ, por sus siglas en inglés)<sup>7</sup>, los nuevos sistemas productivos representan una mejora con respecto a los sistemas convencionales. En este sentido, el estudio estima que en el período 1999-2009, el impacto ambiental total acumulado fue un 12% más bajo (1.152 millones de unidades EIQ/ha) que con los sistemas convencionales.

En el caso del maíz, los impactos reportados son mucho menores en magnitud, pero no por eso menos importantes. Para el maíz tolerante a herbicida (TH), el estudio mencionado indica que hubo una reducción acumulada en el volumen de herbicidas del 2,5% (-1.143.000 kg) desde 2004, cuando esta tecnología fue introducida en el mercado local. En términos del EIQ, la

<sup>6</sup> Si bien este estudio se remonta al año 2001, no existen motivos de peso para pensar que este tipo de relaciones hayan variado significativamente con el aumento del uso de las variedades GM que se ha dado desde entonces.

<sup>7</sup> Desarrollado por la Universidad de Cornell, el EIQ integra la cantidad de ingrediente activo de herbicida (en este caso) con otros efectos relacionados con la toxicidad y la exposición de los trabajadores rurales, consumidores, y medio ambiente.

reducción fue del 4% para el período 2004-2009. Para el maíz resistente a insectos, los impactos han sido menos importantes, principalmente por el hecho de que en Argentina los niveles de uso de insecticidas en los sistemas convencionales siempre han sido bajos y, por lo tanto, la comparación con las nuevas tecnologías es poco significativa.

Finalmente, en el caso del algodón, los impactos observados en la Argentina son muy importantes y están en línea con lo que se observa en otras partes del mundo. Según el mismo estudio mencionado arriba, en el caso del algodón resistente a insectos se ha dado una reducción en el uso de insecticidas que se estima en un 44% por debajo del promedio de 1,15 kg/ha que se utiliza en el caso de las variedades convencionales, mientras que en el acumulado desde 1998, año en que se autorizó la tecnología de resistencia a insectos para su uso comercial, el uso de insecticidas se redujo en 0,47 millones de kg, lo cual equivale a unos 29 millones de unidades en términos de EIQ/ha. Los indicadores asociados al algodón tolerante a herbicidas muestran un comportamiento en la misma dirección. En el acumulado desde 2002 el uso de herbicidas se ha reducido en un 22% (-1,8 millones de kg) y el EIQ, en un 27%.

#### **4.3 El impacto sobre el balance de fósforo en los suelos dedicados a soja**

Resaltar la sinergia mencionada y los beneficios indicados en los párrafos anteriores no significa desconocer los potenciales riesgos que suponen la pérdida de nutrientes (como resultado de los bajos niveles relativos de fertilización que se dan en la Argentina) y el deterioro de los ecosistemas más frágiles en las nuevas áreas del NEA y NOA que han ido siendo incorporadas a la producción de soja hacia el final de este período. En este último caso, la realidad es que se dispone de poca información objetiva que permita hacer un análisis de cuáles pueden ser los impactos del proceso. Independientemente de esto, hay que resaltar que si bien la soja es un componente central del proceso actual de “agriculturización”, este proceso empezó bastante antes de que la soja hiciera irrupción en el escenario agrícola de la Argentina y que buena parte de las áreas que hoy se cultivan con soja ya estaban dedicadas a la agricultura con anterioridad. Por otra parte, las preocupaciones que frecuentemente se expresan acerca de cómo esta expansión está amenazando la biodiversidad y los servicios ambientales que prestan algunos ecosistemas particulares, como pueden ser el de las Yungas, parecerían estar un tanto exageradas, ya que los sistemas en transformación están restringidos a los sectores de selva pedemontana en tierra plana, mientras que las selvas pedemontanas y montanas sobre pendiente, donde se ubica la mayoría de la biodiversidad y que proporcionan el grueso de los servicios ecológicos de las Yungas (cientos de miles de ha), no están amenazadas por la expansión agrícola (Grau, Gasparri y Aide, 2005). En las otras áreas “nuevas” de expansión, como podrían ser las del norte de Córdoba y otras en el Chaco y Norte de Santa Fe, los procesos de cambio en el uso del suelo también parecerían obedecer a fuentes múltiples, y ya estaban en marcha con anterioridad a la aparición de la soja (Paruelo y Oesterheld, 2004). Entre las más importantes se mencionan los cambios en el régimen de lluvias, que permitieron hacer agricultura en áreas donde antes no se podía. Independientemente de todos estos aspectos, que deben ser objeto de análisis y discusión, el tema de la sostenibilidad de las estrategias productivas es de extrema relevancia.

En un trabajo anterior, Trigo y Cap (2006) estimaron el total de toneladas de superfosfato triple “exportadas” durante el período 1996-2006 como consecuencia del cultivo de soja en esos suelos, dado que la reposición es inexistente o insuficiente. Un artículo publicado más recientemente (Colombres, 2011) hace referencia a la preocupación creciente de instituciones como el INTA, Fertilizar y Fundación Producir Conservando acerca de la insostenibilidad del

sistema sin reposición de nutrientes, especialmente fósforo. Hace cinco años no se sabía en qué momento esta deficiencia impactaría en la productividad parcial del factor tierra, es decir, en los rendimientos. Según lo informado por Fertilizar, ese momento ha llegado, y existen evidencias de que la soja responde positivamente a la fertilización fosforada (entre 500 y 730 kg adicionales de grano por hectárea, en la zona núcleo) (Colombres, 2011).

En la Tabla 4.1 se resume la evolución estimada de la exportación de fósforo, expresada en toneladas de superfosfato triple (SFT) y la del costo de reposición, en millones de dólares. El total acumulado de este proceso, altamente detrimental de la fertilidad química del suelo, alcanza a más de 14 millones de toneladas de SFT. El costo de reposición (valuada a precio de noviembre de 2011 en 560 dólares por tonelada) es de 7.950 millones de dólares (los 5.500 millones de dólares que aparecen en la Tabla 4.1 representan el costo total de reposición valorado a los precios de cada año de la serie). Si bien es una cifra significativa, representa hoy apenas el 11,62% del total de beneficios brutos acumulados durante el período bajo análisis (si se hubiera repuesto anualmente en la cantidad requerida para mantener la fertilidad, ese costo hubiera representado apenas el 8,05% del beneficio bruto acumulado).

Esta situación, tal como está planteada, representa una amenaza para el subsector más importante en términos de la generación de divisas para el país, y sugiere la necesidad de diseñar e implementar a la brevedad posible una política (de incentivos, regulatoria, normativa o una combinación de instrumentos) que induzca la reposición de fósforo en las zonas de cultivo de esta especie.

**Tabla 4.1. Exportación neta de fósforo como grano de soja (equivalentes superfosfato triple) y costo de reposición.**

<b>Campaña</b>	<b>Área Sembrada Soja (ha)</b>	<b>Toneladas de SFT Exportadas</b>	<b>Precio SFT (USD/t)</b>	<b>Costo de Reposición (M USD)</b>
1996/97	6.669.500	458.861	270	123,89
1997/98	7.176.250	493.726	290	143,18
1998/99	8.400.000	577.920	290	167,6
1998/99	8.400.000	577.920	290	167,6
1999/00	8.790.500	604.786	310	187,48
2000/01	10.664.330	733.706	300	220,11
2001/02	11.639.240	800.780	300	240,23
2002/03	12.606.845	867.351	295	255,87
2003/04	14.526.606	999.430	290	289,83
2004/05	14.399.998	990.720	340	336,84
2005/06	15.329.000	1.054.635	320	337,48
2006/07	16.141.337	1.110.524	560	335,00
2007/08	16.603.525	1.142.323	560	560,00
2008/09	18.032.805	1.240.657	560	1.100,00
2009/10	18.343.272	1.262.017	560	490,00
2010/11	18.650.000	1.283.120	560	550,00
<b>Total 1996-2011</b>		<b>14.198.476</b>		<b>5.505,11</b>

Fuentes: Elaboración propia en base a una extracción neta (exportación en forma de grano) de 68,8 kg/ha de superfosfato triple, estimada por Cruzate y Casas (2003); SAGPyA y MAGyP, para área sembrada y Márgenes Agropecuarios para precios de SFT (2011).

En síntesis, desde el punto de vista ambiental, el proceso vivido en las últimas dos décadas presenta importantes elementos positivos, pero también abre interrogantes. Esto no debe sorprender. Como se indicó al inicio de esta sección, considerando la magnitud de lo ocurrido en la Argentina, el proceso tiene tanto beneficios como costos. De los beneficios nos hemos ocupado en los capítulos precedentes y párrafos anteriores. Asociados a estos beneficios están las preocupaciones emergentes del avance del monocultivo de soja y lo que el mismo implica en términos de la “exportación” de los nutrientes del suelo, y el avance de la agricultura hacia nuevas áreas con recursos más “frágiles” fuera de la región pampeana (Trigo y Villarreal, 2010; Trigo y Cap, 2006; Trigo et. al., 2002). Todos estos aspectos son relevantes y deben ser monitoreados, pero no cabe duda de que el paquete soja tolerante a herbicida + siembra directa es una alternativa superadora respecto a la situación precedente, aunque también es claro que el mismo, por sí solo, no resuelve todos los problemas de sostenibilidad implícitos en el proceso

de intensificación agrícola. Estos deben ser puestos en contextos de discusión más amplios que consideren no sólo los impactos actuales y potenciales, sino también las políticas correctivas, como las referidas a zonificación agrícola y de promoción de la reposición de nutrientes, ya sea vía rotaciones o fertilización química y, también, las políticas de investigación y desarrollo que permitan anticipar no sólo la propia y “natural” obsolescencia de algunos de los planteos tecnológicos actuales, sino también los nuevos desafíos emergentes de la expansión del modelo productivo hacia nuevas regiones agroecológicas, incluyendo tanto los temas vinculados con la integralidad de los suelos, como al control de plagas y enfermedades, entre otros.

## CAPÍTULO 5

### EL DESAFÍO DE MANTENERSE COMO ADOPTANTE TEMPRANO

Una de las características salientes del proceso de incorporación de las variedades GM a la agricultura argentina es el carácter de “adoptante temprano” que tuvo el país en el proceso de difusión de estas tecnologías a nivel mundial. La Argentina aprovechó rápidamente la disponibilidad de la soja tolerante a herbicida y su incorporación a nuestra agricultura se dio, prácticamente, al mismo tiempo que la tecnología se hacía disponible en el mercado norteamericano para el cual fue diseñada. Esto le ha permitido a lo largo de este período acceder a un importante cúmulo de beneficios económicos y de otro tipo a los que se hizo referencia en este documento.

Si bien no existe información disponible que permita estimar de forma precisa esos beneficios comparativamente a lo ocurrido en otros países, se puede hacer alguna consideración general en base a cuál fue la evolución de los beneficios acumulados año a año como resultado de la incorporación de las nuevas variedades GM. De acuerdo a la información presentada en el capítulo 3, la Argentina comenzó a acumular beneficios a partir de la campaña 1996/97, mientras que otros competidores, como Brasil, sólo empezaron a beneficiarse de estas nuevas tecnologías a partir de la campaña 2001/2002. El monto acumulado de beneficios para Argentina durante ese período es de aproximadamente 5.500 millones de dólares americanos, una cantidad significativa que debe ser atribuida en parte a las nuevas tecnologías (incremento de la producción) y en parte también a los precios internacionales que fueron más altos. Esto último se debió a que para ese momento todavía no se evidenciaba en el mercado la presencia de una mayor oferta de parte de Brasil, cosa que recién comenzó a ocurrir una vez que se aprobó la utilización de las nuevas variedades y comenzó el proceso de difusión que llevó a que en la actualidad este país haya sobrepasado a la Argentina como segundo productor mundial de cultivos GM.<sup>8</sup> La magnitud de estos números resalta las ventajas de estar en la punta de este tipo de procesos innovativos, y por extensión, el tipo de riesgos – o costos de oportunidad – que tendría para el país un proceso de incorporación de tecnologías menos dinámico del que se ha dado en el pasado.

La comparación anterior, aún en su simpleza metodológica, permite comentar sobre los costos que puede tener para un país como la Argentina la pérdida de la condición de “adoptante temprano”, cualesquiera que sea la razón por lo que esto ocurra. En efecto, el afianzamiento de la competitividad de la agricultura argentina y, consecuentemente, de la capacidad de generar beneficios, depende esencialmente de la posibilidad de reducir costos de producción, ya que al tratarse de commodities, es difícil incidir en los precios, aunque es cierto que en algunos casos la producción argentina, por su propia magnitud, pesa a la hora de la determinación de los mismos

---

<sup>8</sup> Otra perspectiva de los beneficios del carácter de “adoptante temprano” se puede obtener a partir de información secundaria proveniente del trabajo de Brookes & Barfoot (2011), en el que se analiza el impacto de los cultivos GM a escala global. Haciendo la aclaración que el enfoque metodológico utilizado en dicho estudio no es comparable con el utilizado en los Capítulos 3 y 4 de este informe, y, por lo tanto, las cifras de beneficios no son coincidentes, es posible, sin embargo, hacer algunas comparaciones de relevancia en cuanto a la magnitud de los beneficios que pueden haber existido *vis a vis* con Brasil. Según esta comparación, los beneficios acumulados a 2009 resultantes de la adopción de la soja tolerante a herbicida en Brasil pueden estimarse en USD 3,2 miles de millones, mientras que para la Argentina, los beneficios, desde el momento de la incorporación de las nuevas tecnologías habrían sido de USD 9,7 miles de millones. Esto es una diferencia de casi USD 6,5 mil millones, que podrían asignarse al carácter de “adoptante temprano” y de las políticas que en su momento facilitaron esta condición.

por los mercados internacionales. En este marco, cuanto más temprano se difunden las nuevas tecnologías, mayores son los beneficios, y eso es lo que muestran los datos referidos arriba. Si las innovaciones se retrasan *vis a vis* con lo que hacen los competidores, hay que enfrentar los efectos precio de esos procesos, sin los beneficios de los menores costos de producción o mayor productividad que puedan ofrecer las nuevas tecnologías. Alejarse de la frontera de la innovación puede tener consecuencias palpables para la Argentina, y en el futuro mayores, quizás, de lo que pueden haber sido en el pasado.

En retrospectiva, lo que ocurrió en el caso de la soja no se verificó con la misma intensidad en otros cultivos, particularmente el maíz, ya que, por distintos motivos – principalmente vinculados a la protección del acceso a los mercados de exportación–, el rango de opciones fue mucho menor, tanto en la cantidad de tecnologías disponibles como en el tiempo en que los eventos tardaron en llegar al mercado nacional. Esto, sin embargo, no fue demasiado importante porque, por distintos motivos (maduración de los procesos de I+D, moratorias, etc.), las dinámicas de innovación en cuanto a la incorporación de nuevos cultivos GM a los mercados no fue muy intensa. Pero esto no parece ser lo esperable en el futuro, donde los cultivos GM parecen encaminados a convertirse en el “patrón” antes que en la excepción en los mercados y, en ese caso, cuanto más temprano las nuevas opciones se incorporen al menú productivo del país, mayores serán los beneficios a obtener, tal como lo ha demostrado el caso de la soja de manera más que convincente.

La importancia del impacto final de este proceso dependerá, entre otras cosas, de si los cultivos GM terminan de consolidarse como el “patrón” del mercado o no. Si no lo hacen, estos desfasajes quedarán al nivel de las anécdotas referidas a las dinámicas de los procesos de innovación vinculados a la agricultura y la alimentación. Si por el contrario, como toda la evidencia indica, lo que está ocurriendo a nivel mundial es el comienzo de un nuevo ciclo tecnológico del cual emergerán un gran número de nuevas tecnologías específicas (muchas de ellas de utilidad para nuestra agricultura), los costos en términos de innovación y competitividad serán cada vez mayores. En este sentido, cómo asegurar el carácter de “adoptante temprano” parece ser un tema estratégico de discusión, incluyendo no sólo cómo agilizar los procesos de aprobación de las nuevas tecnologías, sino también, y de manera central, cómo promover las nuevas inversiones en el sector y crear los mecanismos para que los inmensos beneficios que le ofrecen las nuevas tecnologías a nuestra sociedad se reciclen en nuevas oportunidades de innovación, crecimiento económico y bienestar social.

## BIBLIOGRAFÍA

- ArgenBio (Consejo Argentino para la Información y el Desarrollo de la Biotecnología), [www.argenbio.org](http://www.argenbio.org).
- Barsky O (ed.), "El desarrollo agropecuario pampeano"; Grupo Editor Latinoamericano, Colección Estudios Políticos Sociales (1991).
- Barsky O y Pucciarelli, A (ed.), "El agro pampeano. El fin de un período"; UBA, FLACSO (1997).
- Brookes G and Barfoot P. GM crops: global socio-economic and environmental impacts 1996-2009 (2011), disponible en [www.pgeconomics.co.uk](http://www.pgeconomics.co.uk)
- Cap E y González P. "La Adopción de Tecnología y la Optimización de su Gestión como Fuente de Crecimiento de la Economía Argentina", INTA, Instituto de Economía y Sociología. (2004).
- Casas R. Disertación ante la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, Buenos Aires, Argentina (2005).
- Chudnovsky D y López A. "La transnacionalización de la economía argentina"; Eudeba (2001).
- Ciencia Hoy (revista), "La transformación de la agricultura argentina", Junio/Julio (2005).
- Costamagna O. "Mercado de Semillas. Impacto del Proyecto del Fondo Fiduciario (Regalías Globales)", Foro de Perspectiva Agroindustrial 2004, Seminario Outlook de la Agroindustria Argentina: El campo como eje de la sociedad argentina; abril (2004).
- Cruzate G y Casas R. Balance de Nutrientes. Revista Fertilizar INTA, Año 8, Número Especial "Sostenibilidad", ISSN 1666.8812, pp 7-13, Diciembre (2003).
- Diamante A. "Encuesta Nacional sobre Fitomejoramiento. Informe de Argentina"; Buenos Aires, Argentina, Octubre (2006).
- Dros JM. "Manejo del boom de la soya: Dos escenarios sobre la expansión de la producción de la soya en América del Sur"; AIDEnvironment; Junio (2004).
- Elena MG. Ventajas Económicas del Algodón Transgénico en Argentina. INTA. Estación Experimental Sáenz Peña. Chaco. Documento de trabajo (2001).
- Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; "Patrones espaciales y temporales de la expansión de Soja en Argentina. Relación con factores socio-económicos y ambientales"; Informe final LART/FAUBA Laboratorio de Análisis Regional y Teledetección; Noviembre (2004).
- Fernández Cornejo J and Caswell M. "The First Decade of Genetically Engineered Crops in the United States", USDA. Economic Information Bulletin Number 11, April (2006).
- Giancola S, Lema D, Penna J y Corradini E(h); "Relevamiento de Gastos en Investigación y Obtención de Cultivares de Trigo y Soja en el INTA.", Documento de Trabajo N° 20. (2002).
- Grau HR, Gasparri NI y Aide TM. Agriculture expansion and deforestation in seasonally dry forests of north-west Argentina. Environmental Conservation 32 :140-148 (2005).
- Gutiérrez M y Penna J. "Derechos de Obtentor y estrategias de marketing en la generación de variedades públicas y privadas"; Documento de Trabajo N° 31; Octubre (2004).
- Iannone N. Servicio técnico Diatraea en maíz. INTA Pergamino. [www.elsitioagricola.com / plagas /intapergamino / diatraea20020502.asp](http://www.elsitioagricola.com/intapergamino/diatraea20020502.asp) (2002).
- IICA, "Informe de Coyuntura. Sector Agroalimentario Argentino"; Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, varios Números (2000-2005).
- Ingaramo J. "La renta de la tierra pampeana", Mimeo, Bolsa de Cereales de Buenos Aires, Argentina. Enero (2005).
- INTA, Estudio del Perfil Tecnológico del Sector Agropecuario Argentino (2002).
- James C. "Brief 42 Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2010"; International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA) Brief Nro. 42. ISAAA: Ithaca, NY (2010)
- La Nación. Campo ;"Al Rescate del Medio Ambiente"; 24 de Octubre (1998).

- Lazzarini A. "Avances en el Análisis de CNA 2002 y su comparación con el CNA 1988"; Documento de difusión inscripto en el marco de desarrollo de actividades del Proyecto de Beca Profesional de Iniciación "Sistematización y análisis del Censo Nacional Agropecuario 2002"; Co-directores Lic. Víctor Brescia, Ing. Agr. Inés Rivera. INTA. Instituto de Economía y Sociología. Buenos Aires, Marzo (2004).
- Lema D. "Algunas observaciones sobre el Nº de EAPs y población rural de los años 90". Instituto de Economía y Sociología (IES) – INTA (2006)
- Llach JJ. Harriague MM. y O'Connor, E. "La generación de empleo en las Cadenas Agroindustriales", Fundación Producir Conservando, Buenos Aires, Mayo (2004).
- López G. "Caracterización y Análisis de la expansión de la soja en Argentina. Transformaciones observadas en la agricultura argentina en los últimos 15 años"; FAO, Documento presentado en el taller (2006).
- Manciana EV, Maceira J, De Haro A, Piñeiro M, Trigo E, Martínez Nogueira R. "El Campo a Fines del Siglo XX. Intentos, fracasos y las políticas que vienen". FORGES. Fortalecimiento de la Organización y Gestión Económica y Social (2008).
- Ministerio de Economía y Producción, Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación de la Nación, Oficina de Biotecnología; "Plan Estratégico 2005 - 2015 para el desarrollo de la biotecnología agropecuaria"; 1ª Ed. Buenos Aires. (2004).
- Obschatko E. "La transformación económica y tecnológica de la agricultura pampeana"; Ediciones Culturales Argentinas, Ministerio de Educación y Justicia de la Nación, Secretaría de Cultura (1988).
- Paruelo J y Oesterheld M. Patrones espaciales y temporales de la expansión de la soja en la Argentina. Relación con factores socioeconómicos y ambientales, Buenos Aires, Facultad de Agronomía-UBA (2004).
- Penna J y Lema D. Adoption of Herbicide Tolerant Soybeans in Argentina: An Economic Analysis in "The Economic and Environmental Impacts of Agbiotech. A Global Perspective". Nicholas Kalaitzandonakes (ed.). Kluwer Academic/Plenum Publishers, NY (2003).
- Pincen D, Viglizzo EF, Carreño LV, Frank FC "La relación soja-ecología-ambiente. Entre el mito y la realidad" en Viglizzo y Jobbágy Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental, Ediciones INTA. 53-63 (2010).
- Qaim M and Traxler G. "Roundup Ready Soybeans in Argentina: Farm Level, Environmental and Welfare Effects", at the 6º Conference ICABR on "Agricultural Biotechnologies: New Avenues for Production, Consumption and Technology Transfer". Ravello, Italia (2002).
- Qaim M, Cap E and de Janvry A. "Agronomics and Sustainability of Transgenic Cotton in Argentina"; AgBioForum, 6 (1&2): 41-47 (2003).
- Rapela M. et al., "Innovación y propiedad intelectual en mejoramiento vegetal y biotecnología agrícola", Editorial Heliasta (2006).
- Regúnaga M, Fernández S y Opacak G. "El impacto de los cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina"; Programa de Agronegocios y Alimentos, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires; Septiembre (2003).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca (SAGyP) y Consejo Federal Agropecuario; "El deterioro de las tierras en la Republica Argentina", Buenos Aires (1995).
- Trigo E, Chudnovsky D, Cap E y López A. "Los Transgénicos en la Agricultura Argentina: Una historia con final abierto" Libros del Zorzal, Buenos Aires, Argentina (2002).
- Trigo E and Cap E, "The Impact of the Introduction of Transgenic Crops in Argentinean Agriculture", AgBioForum, 6(3): 87-94 (2004).
- Trigo E y Cap E. "Diez años de cultivos genéticamente modificados en la agricultura argentina", ArgenBio, Buenos Aires, Argentina (2006)
- Trigo E, Falck Zepeda J y Falconi C. "Biotecnología agropecuaria para el desarrollo en América Latina: Oportunidades y Retos", Documentos de Trabajo LAC 01/10, Programa de Cooperación, FAO/Banco

Inter-Americano de Desarrollo, Servicio para América Latina y el Caribe, División del Centro de Inversiones, Enero de 2010.

Trigo E y Villareal F. "La innovación biotecnológica en el sector agrícola", en Lucio G. Reca, Daniel Lema y Carlos Flood (eds.) El crecimiento de la agricultura argentina. Medio siglo de logros y desafíos, Cap. 7, pp. 161-189, Universidad de Buenos Aires (2010).

Viglizzo EF, Carreño LV, Pereyra H, Ricard F, Clatt J y Pincén D. "Dinámica de la frontera agropecuaria y cambio tecnológico" en Viglizzo y Jobbágy, Expansión de la Frontera Agropecuaria en Argentina y su Impacto Ecológico-Ambiental, Ediciones INTA. 9-16 (2010).

## ANEXO I

### SIGMA V 2.2: UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA ESTIMAR EL IMPACTO DE LA INVESTIGACIÓN Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA

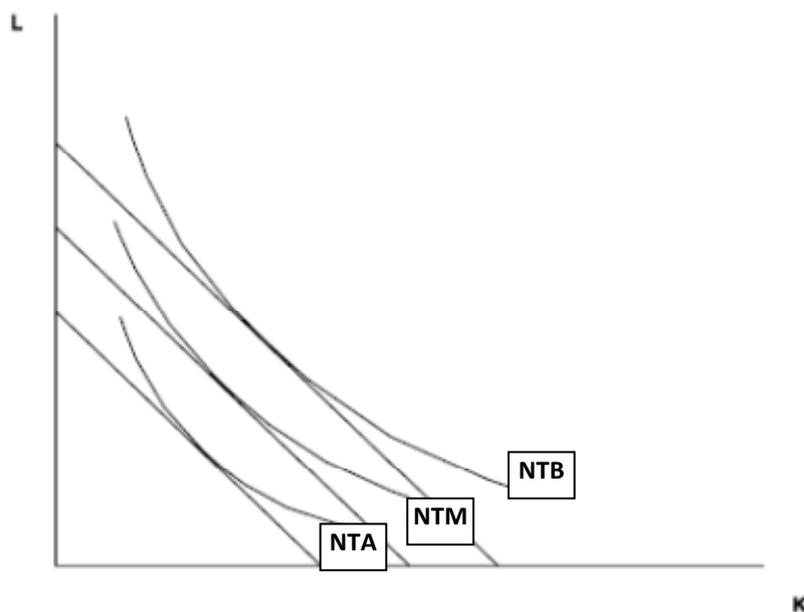
#### 1. Introducción y descripción general

La herramienta analítica empleada es un modelo dinámico de simulación (SIGMA), desarrollado por el INTA para simular simultáneamente múltiples senderos de adopción de tecnología, por parte de los productores y estimar su impacto. Puede ser empleado para simulaciones *ex-ante* y *ex-post* y estima los efectos sobre la producción, de escenarios alternativos de generación y adopción de tecnología. Esto es, SIGMA calcula cuánto más sería producido, en comparación con una línea de base definida, por la adopción, a nivel de productor, de tecnologías ya disponibles en el mercado o a ser generadas en el futuro por el sistema de I+D.

Los datos empleados en las corridas de simulación de este trabajo fueron generados en el Estudio del Perfil Tecnológico del Sector Agropecuario Argentino (INTA, 2002) y están disponibles a nivel de zona agroecológica homogénea.

Los supuestos explícitos detrás del modelo son los siguientes:

- Existen tres niveles tecnológicos (NT) observables entre los productores agropecuarios de áreas agroecológicas relativamente homogéneas: bajo (NTB), medio (NTM) y alto (NTA), asociados, respectivamente, con prácticas, insumos y productividad diferenciales (medida en términos de rendimientos unitarios). (Ver Gráfico 1)
- La adopción de tecnología por parte de los productores responde a una función no lineal (sigmoidea), cuyos parámetros responden a la naturaleza de la innovación y al perfil socio-económico de la población objetivo del esfuerzo de transferencia.



**Gráfico 1:** Representación esquemática de tres niveles tecnológicos, como funciones de producción coexistentes, que generan la misma cantidad de producto  $y$ , con tres diferentes combinaciones de insumos, incrementándose monotónicamente, desde NTB hasta NTA (suponiendo que los productores seleccionen la combinación de L y K que maximiza el beneficio).

El supuesto implícito más relevante de SIGMA es que la coexistencia en el tiempo y el espacio de los tres niveles tecnológicos (NT), no puede ser explicada satisfactoriamente recurriendo a los modelos simples (sin restricciones) de maximización de beneficios, derivados de la teoría económica neoclásica, dado que, de acuerdo con ella, si los productores son maximizadores de beneficios, deberían “migrar” hacia la función de producción más eficiente, esto es, la más cercana al origen (la identificada en el Gráfico 1 como NTA). Esto no ocurre en el mundo real, lo que no significa que se ponga en duda la racionalidad de los productores. Reconoce, en cambio, la existencia de múltiples restricciones que enfrentan dichos productores (difíciles de capturar empleando técnicas econométricas sin contar con información a nivel micro), asociadas con mercados incompletos y/o inexistentes, así como limitaciones a la posibilidad de adoptar y optimizar tecnologías, determinadas por la oferta sub-óptima de bienes públicos puros (tales como infraestructura deficiente, producto de inversiones públicas sub-óptimas), de bienes privados puros (como por ejemplo, cadenas de frío y capacidad de almacenaje), o de bienes semipúblicos, como la capacidad de gestión empresarial.

En los países desarrollados, el análisis del proceso de adopción de tecnología supone, implícitamente, que los productores convergen de una manera relativamente rápida y lineal a la misma función de producción eficiente, a continuación de su lanzamiento comercial, mientras que en los países en vías de desarrollo, coexisten, tanto en el tiempo como en el espacio, un continuum de funciones de producción, comenzando por las empleadas por los adoptantes tempranos, productores de punta identificados con el NTA y, a partir de allí, aparecen muchas otras, en posiciones cada vez más alejadas del origen de coordenadas, hasta el punto en el que los niveles de eficiencia son tan bajos que marcan el “límite” (generalmente difuso) entre producción comercial y de subsistencia.

## **2. Información requerida para correr el modelo (desagregada por región agroecológica homogénea)**

### **2.1 Versión ex-ante (aplicada para la soja Bt+TH y el trigo TS)**

- Área bajo producción y rendimiento, por NT, en el tiempo  $t_0$  (presente).
- Incremento en productividad, reducción en costos, mejora en calidad (expresada como incremento del precio del producto) y/o expansión del área apta para la actividad en estudio, esperable como efecto de la adopción de la tecnología bajo análisis.
- Techo de adopción por NT: porcentaje máximo del área que está en condiciones de adoptar la tecnología. Es una función de las restricciones que enfrentan los productores (por ej., deseconomías de escala)<sup>9</sup>.
- Fracción del área total dedicada a la actividad que puede beneficiarse con la adopción de la nueva tecnología (por ejemplo, puede ser que no haya cultivos conteniendo la innovación, para todas las regiones).
- Año de disponibilidad de la tecnología (año  $t_d \geq t_0$ , inicio de la simulación).
- Horizonte temporal de la simulación (cantidad de años).

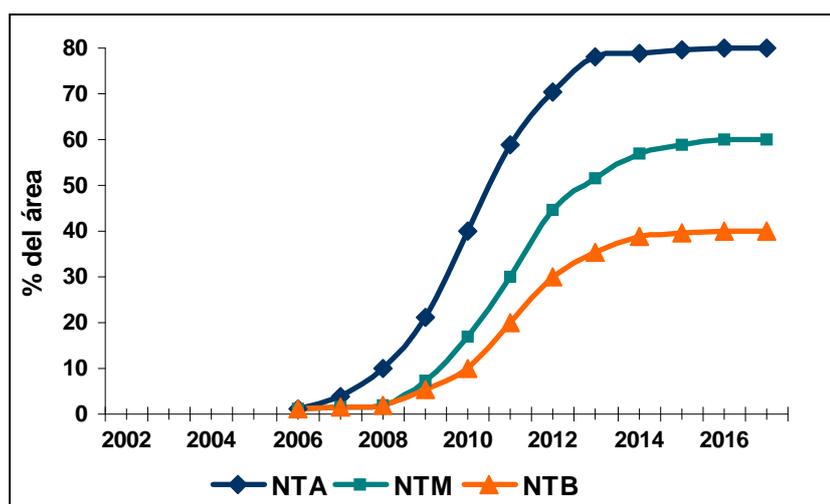
---

<sup>9</sup> Algunas de las restricciones identificadas en un trabajo reciente son las siguientes: (1) Insuficiente rentabilidad marginal de la aplicación del cambio tecnológico (CT), (2) Dificultad en obtener los insumos apropiados, (3) Dificultad en obtener la mano de obra requerida -en cantidad y/o calificación- por el nuevo esquema técnico, (4) Insuficiencia de excedentes financieros y/o carencia de crédito a tasas compatibles con las tasas de rentabilidad de los modelos con introducción del CT, (5) Falta de adecuada articulación con la agroindustria para adaptar la producción a los requerimientos de la demanda e identificar los CTs requeridos, (6) Desconocimiento por parte de los productores de la existencia y/o características de aplicación de alternativas tecnológicas de mayor rendimiento, (7) Falta de actitud empresarial (capacidad de asumir riesgos, utilización de prácticas de planificación empresarial y control de gestión, empleo de profesionales en actividades de gerencia, etc.), (8) Ausencia de servicios profesionales (públicos o privados), que puedan asesorar para el CT, (9) Dificultades para comercializar mayores volúmenes de producción (falta de mercados zonales, desconexión con los agentes comercializadores en los mercados de concentración, restricciones de transporte), (10) Dificultades o desconocimiento para comercializar productos que no cuentan con canales estándar (11) Restricciones en alguno de los niveles, derivadas de la escala de producción, (12) Restricciones derivadas de las formas de organización social de la producción (arrendamientos, aparcería, contratismo, etc.), (13) Legislación conservacionista deficiente, (14) Falta o insuficiencia de elementos y/o medios para difusión/transferencia de tecnología.

## 2.2 Versión ex-post (aplicada para la soja, maíz y algodón GM)

- Área bajo producción y rendimiento, por NT, en t0-x (inicio de la simulación, en el pasado).
- Incremento en productividad, reducción en costos, mejora en calidad (expresada como incremento del precio del producto) y/o expansión del área apta para la actividad en estudio, resultante de la adopción de la tecnología bajo análisis.
- Techo de adopción por NT: porcentaje máximo del área que está en condiciones de adoptar la tecnología. Es una función de las restricciones que enfrentan los productores (por ej, deseconomías de escala).
- Porcentaje de adopción observado en t0 (fin de la simulación).

El componente clave del modelo es la reconstrucción del proceso de adopción, por los productores, de innovaciones tecnológicas que generan desplazamientos de la isocuanta hacia el origen, mediante el uso más eficiente de los recursos, lo que, a su vez, induce una reducción en el costo unitario y/o un aumento en la calidad del producto (expresado como un incremento del precio) y/o una expansión del área potencialmente apta para la producción comercial del rubro en cuestión. En el Gráfico 2 se presenta una representación gráfica de un ejemplo de senderos simulados por SIGMA.



**Gráfico 2:** Un ejemplo de senderos de adopción de tecnología, simulados por SIGMA, expresados en porcentajes del total del área dedicada al rubro, de tecnología disponible en 2006, por parte de productores que operan en tres NT, bajo, medio y alto, los que registran, respectivamente, techos potenciales mayores y tiempos medios menores, lo que refleja un alivio creciente de las restricciones a la adopción.

### 3. Apéndice matemático

Para simular la dinámica de los senderos de adopción de tecnología, se usó una combinación de dos formas funcionales: la función logística y la sigmoidea (ésta última como caso especial de la primera).

La función logística tiene la siguiente expresión matemática:

$$P(t) = K \left\{ \frac{1 + me^{-(t-\emptyset)}}{1 + ne^{-(t-\emptyset)}} \right\} \quad (1)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = K$$

La función sigmoidea, es una variante de (1), fijando  $K=1$ ,  $m=0$ ,  $\emptyset=0$  y  $n=1$ , tal que:

$$P(t) = \frac{1}{1 + e^{-t}} \quad (2)$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} P(t) = 1$$

La forma funcional empleada en el modelo de simulación SIGMA fue obtenida fijando  $m=0$  y  $n=1$  en (1), lo que implica una expansión de la función sigmoidea (permitiendo que el límite  $P(t)$ ,  $t \rightarrow \infty \leq 1$ ). Esta variante también permite que  $\emptyset$  tome valores  $\geq 0$ , haciendo posible seleccionar un punto a lo largo del eje de  $t$ , en el cual  $P(t)''$  cambia de signo, de  $+$  a  $-$ . De esta manera, podemos seleccionar y modificar el tiempo medio de adopción, esto es, la cantidad de años transcurridos hasta que el 50% del área de cultivo adopta la tecnología bajo análisis. La expresión matemática final es la siguiente:

$$P(t) = K \left\{ \frac{1}{1 + e^{-(t-\emptyset)}} \right\} \quad (3)$$

El modelo usa (3) para simular la dinámica de los senderos de adopción de tecnología, incluida en la siguiente formulación empírica:

$$P(t) = \sum_{i=1}^3 \beta_i \left\{ \frac{K_i}{1 + e^{-(t-\emptyset_i)}} \right\} \cdot A_{it} \quad (4)$$

donde:

$P$ : producción adicional.

$t$ : tiempo (año)

$i$ : nivel tecnológico,  $i \in [1,2,3]$ , donde: 1= Bajo, 2= Medio, 3= Alto.

$\beta_i$ : brecha de productividad, por nivel tecnológico, entre valores actuales y potenciales.

$K_i$ : Techo de adopción potencial de la tecnología  $\in (0,1]$ .

$e$ : base de los logaritmos naturales.

$\emptyset_i$ : Tiempo medio de adopción (número de años que transcurren para que el 50% del área con NT  $i$  adopte la tecnología bajo análisis).

$A_{it}$ : área (en ha) de cada NT  $i$ , en el año  $t$  ( $A_{it} = f(A_{it-1}$ , tasa de movilidad  $\in [0, 1]$ , tasa de expansión del área  $\in [0, \infty]$ ).

## ANEXO II

A continuación se reproduce la descripción del enfoque metodológico empleado para medir el impacto global de la adopción de la soja GM en Argentina, publicado en Trigo y Cap (2006):

*La elasticidad-precio de la oferta es un parámetro que mide la relación  $\Delta Q/\Delta p$ , expresión que, traducida a palabras, es la fracción en la que se espera que cambie el volumen que ofertarán los productores, ante una modificación del precio del grano, registrado con anterioridad a la decisión de siembra. Por ejemplo, un valor de elasticidad-precio de oferta de 0,7 significa que, por cada 1% de cambio en el precio, la oferta responde en la misma dirección, en un 0,7% (aumenta si el precio es superior y baja si disminuye).*

*La inversa de la elasticidad, esto es la expresión:  $\Delta p/\Delta Q$ , se denomina flexibilidad, y mide la respuesta del precio a cambios en el volumen ofertado. Los econométricos advierten, sin embargo, sobre la inconveniencia de tomar el valor estimado de una elasticidad, invertirlo y trabajar sobre el número resultante como si fuera una estimación correcta de la flexibilidad<sup>10</sup>. Tomando nota de esta salvedad, se decidió emplear, para el presente ejercicio, la elasticidad-precio de oferta de soja para los Estados Unidos, el mayor productor mundial, estimada en 0,80 (se han citado otros valores para este parámetro, en el rango de 0,22 a 0,92)<sup>11</sup>, pero formulando, al mismo tiempo, el supuesto que éste (0,80) es el valor real del parámetro y no una estimación. De esa manera, su inversa, 1,25, podrá ser considerada como la flexibilidad-precio verdadera. Si nuestro supuesto es correcto, estamos en condiciones de estimar cuantitativamente el efecto que sobre el precio internacional del grano de soja habría tenido, en la década bajo análisis, el adicional de producción originado en Argentina, atribuible a la liberación de los materiales tolerantes a glifosato.*

---

<sup>10</sup> Huang, K. (2006). *A Look at Food Price Elasticities and Flexibilities*. Poster Paper. 26<sup>th</sup> Conference of the International Association of Agricultural Economists. 12-18 de agosto de 2006. Gold Coast, Queensland, Australia. El problema radica en el hecho de que los ejes sobre los que se minimizan los residuos de los cuadrados son distintos; cantidades en el caso de la elasticidad y precios en el de la flexibilidad. O sea que estos dos parámetros son recíprocos entre sí en el sentido económico, pero no en el estadístico.

<sup>11</sup>Prize, G. et al (2003). *Size and Distribution of Market Benefits from Adopting Biotech Crops*. United States Department of Agriculture. Electronic Report from the Economic Research Service. Technical Bulletin Number 1906. November.