`Beneficios del maíz Bt en España (1998-2015). Una perspectiva económica, social y ambiental´

Dr. Francisco J. Areal

fundación antama

ÍNDICE

1.- Introducción 3

2.- Beneficios del cultivo de maíz Bt para la agricultura 5

2.1 Razones agronómicas 5

2.2 Razones económicas 7

2.3 Razones derivadas del manejo de cultivo 8

3.- Beneficios del cultivo del maíz Bt sobre el medio ambiente 8

3.1 Uso de insecticidas 8

3.2 Uso de agua de riego 9

3.3 Huella hídrica 11

3.4 Uso de la tierra 11

3.5 Fijación de carbono 12

4.- Beneficios del cultivo de maíz Bt sobre el comercio exterior 13

5.- Conclusiones 18

Bibliografía 19

Anexos 23

Beneficios del maíz Bt en España (1998-2015).

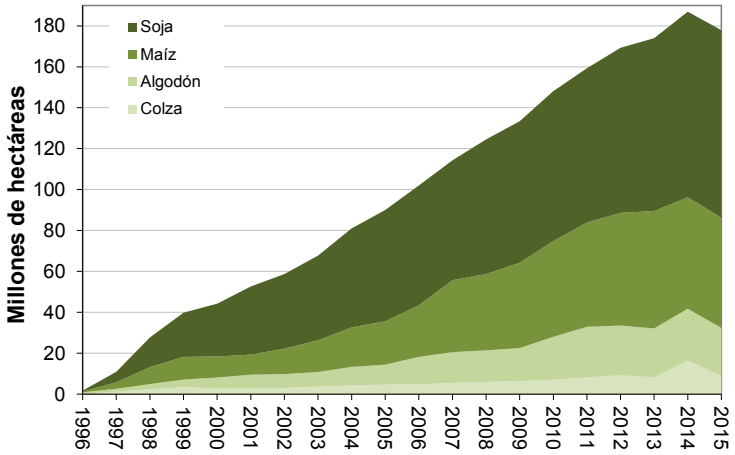
Una perspectiva económica, social y ambiental

F.J. Areal (2015-2013) y L. Riesgo (1998-2012)

1. Introducción

Los cultivos modificados genéticamente (MG) han experimentado una fuerte expansión desde los inicios de su comercialización en 1996, ocupando en el año 2015 una superficie total de 179,7 millones de hectáreas (James, 2016). Por orden de importancia, destaca la soja (51% de la superficie total de cultivos modificados genéticamente), el maíz (30%), el algodón (13%) y la colza (5%) (Figura 1).

Figura 1. Evolución de la superficie mundial cultivada con variedades MG



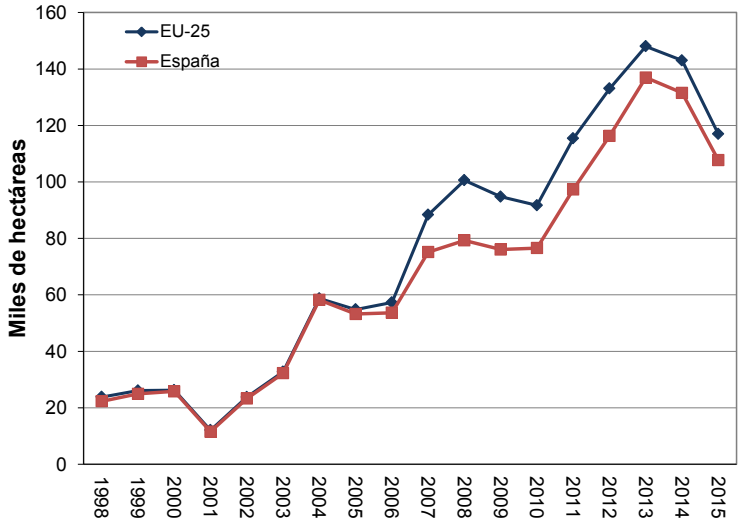
Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2016)

En el caso europeo, llama la atención la baja superficie destinada a cultivos modificados genéticamente, con un total de 143.016 hectáreas en 2014 y una previsión de 116.975 hectáreas para 2015[1] (ver Figura 2). Actualmente en la UE sólo se cultiva maíz Bt, destacando especialmente su cultivo en España, donde se concentra el 92% de la superficie dedicada a maíz Bt en la UE para los años 2014 y 2015.

En estos dos últimos años se puede ver una reducción de la superficie cultivada de maíz Bt tanto en la UE como en España. A nivel de la UE esta reducción se debe principalmente a la reducción experimentada en España en la superficie global cultivada de maíz, tanto a nivel modificado genéticamente como convencional. Cabe señalar que en términos porcentuales la superficie de maíz modificado genéticamente se mantiene prácticamente en el 30% de la superficie total de maíz cultivado en España desde el año 2012.

[1] La superficie avanzada para la UE en el año 2015 se ha estimado a partir de datos definitivos de superficie de España y de datos previstos de superficie en el caso de Portugal, República Checa, Rumania y Eslovaquia según la información publicada por los respectivos Ministerios de Agricultura (MAGRAMA, 2015; DRAP, 2015; e-AGRI, 2015; Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka, 2015, y Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor, 2015).

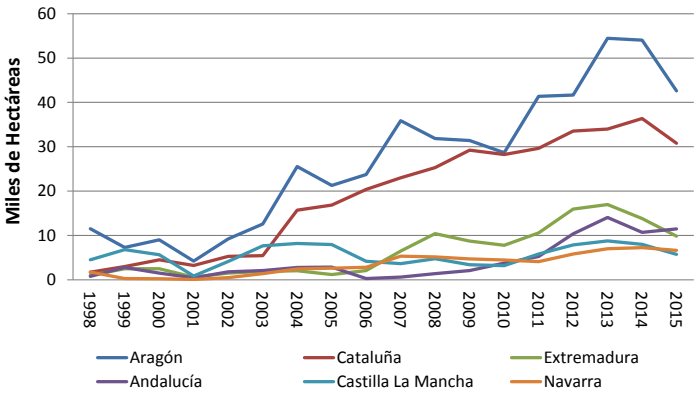
Figura 2. Evolución de la superficie de maíz Bt en la UE-25 y España



Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2016), MAGRAMA (2015), DRAP (2015), eAGRI (2015).

En el caso particular de España, el cultivo del maíz Bt se concentra mayoritariamente en Cataluña y Aragón, con un 69% del total de hectáreas, seguido de Andalucía (11%), Extremadura (9%), Navarra (6%) y, Castilla La Mancha (5%) para el año 2015. La evolución en estas comunidades autónomas muestra en general una tendencia creciente de la superficie cultivada desde la introducción del cultivo del maíz Bt. No obstante cabe destacar una aceleración en el crecimiento desde el año 2010. Así, teniendo en cuenta los datos definitivos de superficie para el año 2015 publicados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), en estos últimos 5 años se observan crecimientos de la superficie de maíz Bt en todas las comunidades autónomas, registrando incrementos próximos al 50% en Aragón y Navarra, y superiores en Castilla La Mancha y Andalucía, registrando estas crecimiento del 80% y del 204% respectivamente.

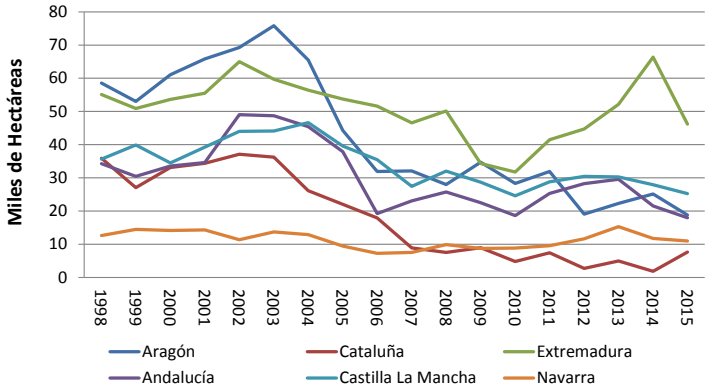
Figura 3. Evolución de la superficie de maíz Bt por Comunidad Autónoma



Fuente: Elaboración propia a partir de MAGRAMA (1998-2015).

En el año 2015 se ha producido una reducción de la superficie de maíz Bt en casi todas las zonas analizadas si bien dicha tendencia, tal y como se ha comentado, se ha mantenido igualmente para la superficie de maíz convencional (ver Figura 4).

Figura 4. Evolución de la superficie de maíz convencional por Comunidad Autónoma



Fuente: Elaboración propia a partir de MAGRAMA (1998-2015).

2. Beneficios del cultivo de maíz Bt para la agricultura

El mencionado crecimiento de la superficie de maíz Bt en España desde su introducción en 1998 puede explicarse atendiendo a distintas razones agronómicas, económicas y de manejo de los agricultores en relación al cultivo.

2.1. Razones agronómicas

Numerosos estudios demuestran que una de las principales ventajas del maíz Bt es el mayor rendimiento obtenido por esta variedad en relación a la convencional (Carpenter, 2010; Demont y Tollens, 2004; Gianessi et al., 2002; Gómez-Barbero et al., 2008; Riesgo et al., 2012; Areal et al., 2013). Esta superioridad agronómica se debe fundamentalmente a su resistencia frente a determinadas plagas. Areal et al. (2013) muestran que a nivel mundial[2] el maíz Bt alcanza un rendimiento medio de 0,55 t/ha superior al maíz convencional. De este modo, el maíz Bt se posiciona como el cultivo modificado genéticamente que muestra un mejor rendimiento frente a su variedad convencional a nivel global.

En el caso español, Brookes (2008), Gómez-Barbero et al. (2008) y Riesgo et al. (2012) muestran resultados en la misma línea. Así, Brookes (2008) muestra diferencias que oscilan entre 1,5 y 0,15 t/ha en función del mayor o menor grado de infestación por el taladro en la zona de Aragón para el año 2002. Este mismo autor recoge diferencias medias de rendimiento procedentes de un estudio posterior (2003-2007), que ascienden a 1,30 t/ha. Gómez-Barbero et al. (2008) analizan diferencias de rendimientos en tres zonas diferenciadas: Albacete, Lérida y Zaragoza, que varían entre 1,19 y -0,16 t/ha. Por su parte Riesgo et al. (2012) muestran una diferencia de rendimiento, estadísticamente significativa, de 1,34 t/ha en la zona del valle del Ebro en 2009.

[2] En este análisis se incluyen 33 observaciones procedentes de artículos científicos publicados en revistas internacionales, incluyendo datos de países en desarrollo y países desarrollados.

Tabla 1. Diferencias de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional

Estudio	Zona analizada	Año	Rendimiento maíz Bt	Rendimiento maíz Convencional	Diferencias de rendimiento (t/ha)
Brookes (2008)	Aragón	2002	11,5	10	1,5 (n.s.)
	Aragón	2002	10,15	10	0,5 (n.s.)
Brookes (2008)	Cataluña, Aragón, Navarra	2003-2007	14,30	13,00	1,30 (n.s.)
Gómez-Barbero et al. (2008)	Albacete	2002	12,36	12,14	0,22 (n.s.)
		2003	11,85	12,01	-0,16 (n.s.)
		2004	12,59	12,53	0,06 (n.s.)
	Lérida	2002	12,66	11,51	1,15 (n.s.)
		2003	12,01	11,52	0,49 (n.s.)
		2004	12,18	11,75	0,43 (n.s.)
	Zaragoza	2002	11,06	9,87	1,19 *
		2003	10,49	9,46	1,03*
		2004	10,64	9,53	1,11*
Riesgo et al. (2012)	Valle del Ebro	2009	11,94	10,60	1,34*

(n.s.) muestra diferencias no significativas estadísticamente; * muestra diferencias estadísticamente significativas al 99%.

Fuente: Elaboración propia.

Cabe señalar que en aquellos lugares donde no existan problemas importantes de plagas, las variedades Bt no registrarán diferencias importantes de rendimiento en relación a sus correspondientes variedades isogénicas.

Además de las diferencias de rendimiento originadas por la plaga del taladro, otra razón agronómica que favorece la adopción del maíz Bt por parte de los agricultores es la menor presencia de micotoxinas que registra esta variedad frente al maíz convencional (Hammond et al., 2004; Wu, 2006; GENVCE, 2007; Folcher et al., 2010; Marin et al., 2012; y López-Querol et al., 2013). Las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos originados por hongos que pueden originar enfermedades y problemas de salud en animales y humanos. La presencia de micotoxinas, y más concretamente de fumonisinas[3], es particularmente frecuente ante la presencia del taladro y en climas calurosos y secos (FAO, 2003 y GENVCE, 2007). En aquellas zonas afectadas por el taladro, el contenido de fumonisinas puede suponer un problema para cumplir con los umbrales máximos de contenido de toxinas *Fusarium* en el maíz y los productos del maíz establecidos en el Reglamento (CE) 1126/2007 de la Comisión Europea (GENVCE, 2007 y López-Querol et al., 2013)). Ante este hecho, el maíz Bt supone para los agricultores de estas zonas una opción de cultivo atractiva frente al maíz convencional al permitirles mejorar la calidad del producto final.

[3] Las fumonisinas son un grupo de micotoxinas producidas principalmente por *Fusarium moniliforme*, un moho presente en todo el mundo y que se encuentra con frecuencia en el maíz.

2.2. Razones económicas

Las principales razones económicas que impulsan la adopción del maíz Bt están asociadas a una combinación de mayores rendimientos agronómicos y menores costes de producción. Así, la resistencia a la plaga del taladro incorporada al cultivo a través de la modificación genética resulta en un menor uso de insecticidas que permite reducir los costes derivados del uso de los mismos frente a las variedades convencionales (Ervin et al., 2010; Qaim, 2009). A nivel mundial, Areal et al. (2013) muestran que el maíz Bt tiene unos costes de producción superiores al maíz convencional de casi 14 euros/ha del año 2000. Cabe señalar que en estos costes de producción se consideran tanto los costes de adquisición de la semilla como los costes derivados de los insecticidas contra el taladro, de modo que el mayor coste de adquisición de la semilla de maíz Bt frente a la variedad convencional supera el menor coste derivado del uso de insecticidas. A pesar de los mayores costes de producción, Areal et al. (2013) muestran que el maíz Bt a nivel mundial alcanza una rentabilidad media de 52,81 euros/ha del año 2000[4] superior al maíz convencional. Es necesario destacar que esta mayor rentabilidad económica de los cultivos modificados genéticamente varía considerablemente entre países y regiones, en función de los niveles de presencia de las plagas y del coste de adquirir la tecnología (compra de semillas).

En el caso español, Brookes (2008) muestra una rentabilidad media de 147 euros/ha superior para el maíz Bt en relación al convencional para el año 2002 en Aragón. Esta cifra se mantiene más o menos constante en un estudio posterior recogido por el mismo autor (Brookes, 2008), donde se establece una rentabilidad media superior de 141 euros/ha para las zonas de Aragón, Cataluña y Navarra. Gómez-Barbero et al. (2008) muestran diferencias de rentabilidad económica en torno a los 3,17 euros/ha en la zona de Lérida, 9,49 euros/ha en la zona de Albacete o alrededor de los 120 euros/ha en la zona de Zaragoza para los años 2002 a 2004. En otro estudio más reciente, Riesgo et al. (2012) muestran una diferencia de rentabilidad de 53,51 euros/ha del año 2010 para la zona del valle del Ebro. En todos los casos de estudio, las diferencias de rentabilidad se explican por el mayor rendimiento agronómico del maíz Bt. Así, a pesar de que los costes de producción del maíz Bt sean más elevados[5] y que no haya diferencias en precios entre las dos variedades de maíz[6], se produce una mayor rentabilidad económica de este tipo de maíz en relación a la variedad convencional. Dichas rentabilidades han impulsado la adopción de maíz Bt en estas zonas en los últimos años, experimentando así un considerable aumento de su superficie tal y como se observa en la Figura 3.

[4] En este análisis se incluyen 16 observaciones procedentes de artículos científicos publicados en revistas internacionales, incluyendo datos de países en desarrollo y países desarrollados.

[5] Los costes de producción diferenciales para el maíz Bt ($\{(coste\ adquisición\ semilla\ Bt - coste\ adquisición\ semilla\ convencional) + (coste\ pesticidas\ Bt - coste\ pesticidas\ convencional)\}$ son superiores, en valores medios, a la variedad convencional. Así, Gómez-Barbero et al. (2008) obtienen costes diferenciales de 25,62 euros/ha en la zona de Lérida y en 22,78 euros/ha en la zona de Aragón para los años 2002-2004. Para la zona del Ebro, Riesgo et al. (2012) estimaron unos costes diferenciales de producción del maíz Bt de 8,48 euros/ha superiores al maíz convencional. En este último estudio, los costes diferenciales se deben a la diferencia de costes de adquisición de la semilla (unos 14,89 euros/ha superiores) y a la diferencia de costes derivados del uso de insecticidas (6,41 euros/ha inferiores) en el caso del maíz Bt respecto al maíz convencional.

[6] Riesgo et al. (2012) muestran que no existen diferencias significativas entre los precios del maíz Bt y el maíz convencional en el valle del Ebro.

2.3. Razones derivadas del manejo del cultivo

Además de las razones agronómicas y económicas que explican la expansión de la adopción del maíz Bt, cabe señalar asimismo una serie de razones que impulsan su adopción y que están relacionadas con las ventajas percibidas por los agricultores a nivel de manejo del cultivo. Una de las características más valoradas por los agricultores a la hora de optar por cultivos modificados genéticamente es su facilidad de uso (Areal et al., 2011). En concreto, aquellos agricultores que optan por tecnologías Bt afirman que una de sus principales ventajas es su eficacia en la lucha contra el taladro, permitiendo no sólo reducir el tiempo empleado en inspeccionar la explotación o recoger mazorcas del suelo sino también reducir el número de tratamientos de insecticidas empleados contra esta plaga (Fundación Antama, 2012). Dicha plaga es bastante complicada de controlar en los cultivos convencionales ya que el uso de insecticidas sólo es efectivo si se utilizan en un período concreto desde la aparición de la plaga (Agustí et al., 2005; Brookes, 2008; Farinós et al. 2004).

Otra de las ventajas del maíz Bt está relacionada con su fase de recolección. Así, al no existir maíz dañado por el taladro, los agricultores pueden cosechar más rápidamente y cosechar más paja por hectárea cultivada (Fundación Antama, 2012).

Estas ventajas destacadas por los agricultores no sólo afectan al manejo del cultivo, sino también a sus costes de producción. Así, el menor número de tratamientos y la mayor rapidez en la fase de cosecha[7] permiten reducir los costes de gasóleo y energía asociados a esta actividad agraria. Asimismo, la generación de mayor volumen de paja permite que los agricultores puedan reducir su adquisición, en caso de autoconsumo, o bien venderla a terceros en caso de que no la necesiten.

3. Beneficios del cultivo de maíz Bt sobre el medio ambiente

La adopción de maíz Bt por parte de algunos agricultores españoles ha supuesto una serie de beneficios medioambientales, como son la reducción en el uso de insecticidas, la menor necesidad de agua de riego por tonelada de maíz producida, una huella hídrica inferior, el menor uso de la tierra para la producción de maíz y la mayor fijación de carbono.

3.1. Uso de insecticidas

Tal y como han puesto de manifiesto numerosos autores, los cultivos Bt originan disminuciones en el número de tratamientos insecticidas realizados contra determinadas plagas de lepidópteros (Barwale et al., 2004; Bennett et al., 2004; Carpenter, 2010; Gandhi et al., 2006; Qaim et al., 2006; Wang et al., 2008, Riesgo y Areal, 2013). A nivel agregado, Brookes y Barfoot (2012) estiman que el maíz Bt ha supuesto una reducción del 37,7% en el uso de insecticidas contra el taladro, desde el año 1996 al 2010. Para el caso español, Gómez-Barbero et al. (2008) han estimado un uso medio de 0,86 tratamientos insecticidas anuales para el maíz convencional en el período 2002 a 2004 mientras que este dato se reduce a 0,32 en el caso del maíz Bt. Brookes (2008) estima que la reducción del uso de insecticidas derivado del cultivo del maíz Bt en España supuso reducciones netas del 27% al 45% en el área tratada, y del 26 al 35% en el uso de materias activas entre los años 1999 y 2001, lo que equivaldría a una disminución que oscilaría entre 35.000 y 56.000 kg de ingredientes activos (Brookes, 2002).

[7] La fase de la cosecha se ralentiza ante la presencia de maíz dañado por el taladro, de modo que el cultivo del maíz Bt favorece que esta fase pueda desempeñarse más eficazmente.

Estas reducciones en el uso de insecticidas se traducen en una menor aplicación de fitosanitarios en el medio ambiente con la disminución del riesgo para los organismos no diana (non-target organisms) (Wesseler et al., 2011).

El menor impacto ambiental de los cultivos modificados genéticamente sobre la abundancia de organismos no diana y el uso de insecticidas también aparece en Areal y Riesgo (2015), tanto a nivel individual, como cuando se considera el impacto ambiental agregado (uso de insecticidas y abundancia de organismos no diana), observándose que los cultivos modificados genéticamente son mejores en términos medioambientales que los convencionales con una probabilidad que oscila entre el 70 y el 78%.

3.2. Uso de agua de riego

Teniendo en cuenta el rendimiento agronómico superior del maíz Bt es posible estimar la cantidad de agua no utilizada debido al cultivo de este tipo de maíz frente al convencional. Así, teniendo en cuenta el uso medio de agua de riego para producir maíz en las regiones analizadas (ver Tabla 2), puede calcularse la cantidad de agua necesaria para suplir las pérdidas de producción que se habrían producido en el caso de que el maíz Bt no hubiese estado disponible para los agricultores.

Tabla 2. Uso del agua de riego estimado para el maíz por CC.AA.

Comunidad Autónoma	**Uso del agua de riego (m^3/ha)**	**Referencia**
Aragón	5.372	Sánchez-Chóliz y Sarasa (2013)
Cataluña	6.613	Rufat-Lamarca et al. (2006)
Navarra	6.500	Diario de Navarra (2012)
Castilla- La Mancha	5.507	MAGRAMA (2013b)
Andalucía	5.100	MAGRAMA (2013c)
Extremadura	5.507	MAGRAMA (2013d)

Fuente: Elaboración propia.

Considerando el uso medio de agua de riego y el rendimiento del maíz convencional en cada una de las zonas analizadas en cada uno de los años del análisis (1998-2015), podemos obtener los m^3 necesarios para producir cada tonelada de maíz convencional en dichas zonas[8]. Posteriormente, y teniendo en cuenta las pérdidas anuales que se habrían producido en cada una de las CC.AA. analizadas si el maíz no hubiese estado disponible (ver Figura 8b), puede estimarse el total de m^3 de agua de riego ahorrados en dichas zonas, tal y como se refleja en la Tabla 3. Agregando todas estas cantidades, puede concluirse que suplir la producción adicional que proporciona el maíz Bt en las zonas analizadas habría supuesto no sólo incrementar la

[8] El uso de agua de riego en m^3 por tonelada producida se obtiene utilizando la siguiente expresión: $\frac{uso\ del\ agua\ (m^3/ha)}{rendimiento\ maíz\ convencional\ (t/ha)}$. Se han estimado así las necesidades de agua en m^3/t para cada año del análisis (1998-2015). Estas necesidades se han multiplicado por las pérdidas de producción anuales que se habrían producido en el caso de que el maíz Bt no hubiese estado disponible en las CC.AA. analizadas, obteniendo así las necesidades de agua adicionales en cada una de estas zonas.

superficie de cultivo del maíz convencional, sino una demanda de agua agregada adicional de 615,78 millones de m^3, o de 34,21 millones de m^3 anuales medios en el periodo 1998-2015. Estos requerimientos de agua de riego ahorrados gracias al maíz Bt cobran especial importancia en algunas de las zonas analizadas, con problemas periódicos de disponibilidad de agua para la agricultura.

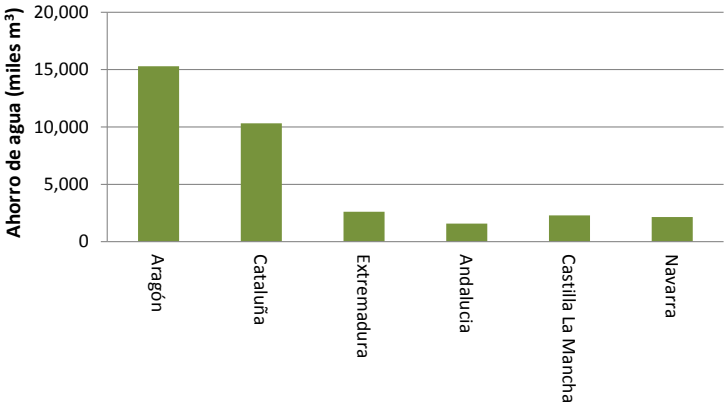
Tabla 3. Cantidad de agua necesaria para suplir la pérdida de producción por CC.AA.

Comunidad Autónoma	**Requerimientos agregados de agua de riego (miles de m^3)**	**Requerimientos anuales de agua de riego (miles de m^3)**
Aragón	275.152	15.286
Cataluña	185.649	10.314
Navarra	38.548	2.142
Castilla- La Mancha	41.123	2.285
Andalucía	28.239	1.569
Extremadura	47.068	2.615
TOTAL	*615.778*	*34.210*

Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta el ahorro medio anual de agua de riego que supone la producción del maíz Bt, y considerando el consumo medio de agua por habitante y día en cada una de las CC.AA. analizadas[9], puede observarse que dicho ahorro podría abastecer durante un año una población de 746.000 habitantes. Con el agua ahorrada podría abastecerse durante un año a más de la mitad de los habitantes de Zaragoza, y a los habitantes de Lérida, Tarragona y Badajoz (INE, 2015a). En concreto, el mayor ahorro de agua se generaría en Aragón y Cataluña, equivaliendo a un abastecimiento urbano anual de 566.164 habitantes (ver Figura 9).

Figura 4. Agua de riego ahorrada por año y número de ciudades que podrían abastecerse



Fuente: Elaboración propia

[9] Los consumos de agua de los hogares en litros/habitante/día asciende a 129 en Aragón, 117 en Cataluña, 140 en Extremadura, 120 en Andalucía, 140 en Castilla La Mancha y 112 en Navarra (INE, 2015b).

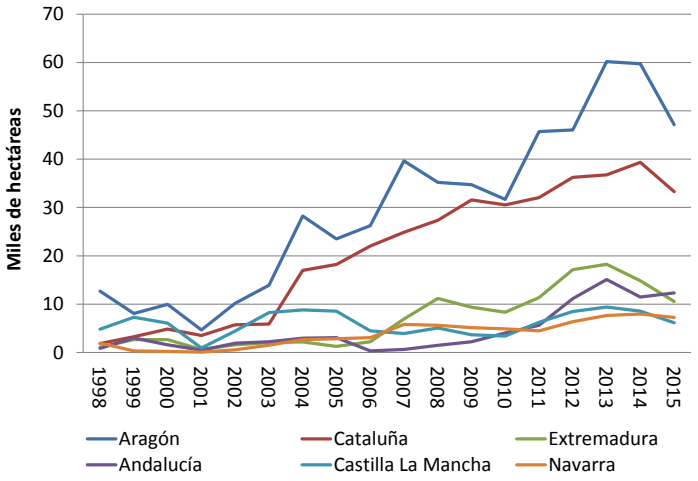
3.3. Huella Hídrica

El concepto de huella hídrica de un bien analiza la relación entre el consumo humano y el uso de agua dulce (Hoekstra, 2003; Hoekstra y Chapagain, 2008), siendo así un indicador del uso directo e indirecto de recursos hídricos. Para ello, se consideran tanto los usos consuntivos del agua (los usos consuntivos se dividen en huella hídrica azul que se refiere al agua dulce superficial y las aguas subterráneas, y en huella hídrica verde que se refiere al agua que procede de las precipitaciones) como los recursos hídricos para asimilar la contaminación asociada a la producción del bien (huella hídrica gris). Para calcular la huella hídrica se agregan las huellas hídricas de todos los procesos desde que se produce un bien hasta que llega al consumidor, y suele expresarse en volumen de agua por unidad de producto. En el caso del maíz en grano, la huella hídrica global media se estima en 1.222 m^3/t, de los cuales 947 corresponden a la huella hídrica verde, 81 a la huella hídrica azul y 194 a la huella hídrica gris (Mekonnen y Hoekstra, 2011). Teniendo en cuenta esta cuantía y las pérdidas de producción evitadas por la adopción de maíz Bt en España (1.093.868 toneladas), a nivel global puede estimarse que se ha evitado una huella hídrica de 1,34 miles de millones de m^3 durante los 18 años del cultivo.

3.4. Uso de la tierra

El cultivo del maíz Bt no sólo ha supuesto una menor presión sobre los recursos hídricos por tonelada producida, sino también una menor presión sobre el uso actual de la tierra de regadío. Mantener la misma producción total de maíz en aquellas zonas afectadas por la plaga del taladro, habría supuesto incrementar la superficie actual destinada al maíz convencional de manera considerable[10] (ver Figura 5 y Tabla A2.1 en el Anexo 2).

Figura 5. Superficie de maíz convencional para compensar el incremento de rendimiento del maíz Bt



¿Fuente?

[10] Para calcular anualmente la superficie de maíz convencional necesaria para compensar la producción de maíz Bt en las zonas analizadas se ha tenido en cuenta la producción de maíz Bt registrada y el rendimiento del maíz convencional por Comunidad Autónoma:

$$Superficie\ maíz\ convencional\ necesaria = Produccion\ maíz\ Bt / Rendimiento\ maíz\ convencional$$

Por ejemplo, en términos totales, se hubiesen requerido 116.663 hectáreas para compensar la pérdida del maíz Bt y mantener los niveles de producción de maíz en las zonas afectadas por el taladro sólo en el año 2015. Este hecho habría supuesto incrementar la superficie de maíz en 9.608 hectáreas, respecto a la superficie total de maíz registrada en las zonas analizadas para mantener la misma producción de maíz en España en 2015 (ver Anexo 2 para analizar en detalle la superficie total de maíz convencional necesaria para mantener los niveles de producción anuales (Tabla A2.1) y la superficie adicional de maíz que hubiese sido necesaria respecto a la registrada (Tabla A2.2)).

En términos acumulados para toda la serie temporal, la superficie total de maíz convencional en España debería haber aumentado en 1.293.733 hectáreas para compensar la producción adicional generada por el cultivo del maíz Bt. Este hecho habría supuesto un incremento neto de las hectáreas de maíz de 106.775 hectáreas respecto a la superficie total observada de maíz en el período 1998-2015, para permitir mantener los niveles de producción registrados.

3.5. Fijación de carbono

La fijación de carbono en los cereales en grano, debido a la actividad fotosintética de las plantas, es muy superior a las emisiones asociadas al proceso de producción agrícola. De este modo, puede considerarse la superficie cultivada de cereales como un sumidero natural de CO_2. En el caso del maíz de regadío se ha estimado una fijación neta de 777 kg CO_2 equivalentes/t de maíz producida (Altuna et al., 2012). Teniendo en cuenta esta fijación neta de CO_2 y la productividad adicional que ha supuesto el maíz Bt con respecto al convencional (1.093.868 toneladas), puede estimarse la fijación adicional de CO_2 que ha supuesto el cultivo del maíz Bt en España durante el período 1998-2015. Así, la presencia del maíz Bt en España ha generado una fijación neta de carbono adicional de 849.935 t CO_2 eq., lo cual supone 47.219 t CO_2 eq. anuales medias para el período de estudio. Dicha fijación neta de carbono agregada supone que gracias al maíz Bt se han compensado las emisiones de aproximadamente más de 5.735 millones de kilómetros recorridos por turismos durante los 18 años de su cultivo, o bien en términos anuales, se han contrarrestado las emisiones de CO_2 realizadas por 25.004 turismos[11] (ver Figura 6).

[11] Para el cálculo del número de las emisiones medias de CO_2 de un turismo en España se han tomado los datos publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2015) en relación a las emisiones de CO_2 equivalentes en coches diesel y gasolina por kilómetro recorrido, datos de la Dirección General de Tráfico (DGT, 2015) para el cálculo de la proporción de vehículos diesel y gasolina circulando en España y el INE (2010) para obtener el número de kilómetros medio recorrido por cada tipo de vehículo. Se ha supuesto que el consumo medio de un turismo es de 6 litros por cada 100 kilómetros recorridos.

Figura 6. Fijación adicional de CO_2 del maíz Bt y número de coches anuales equivalentes

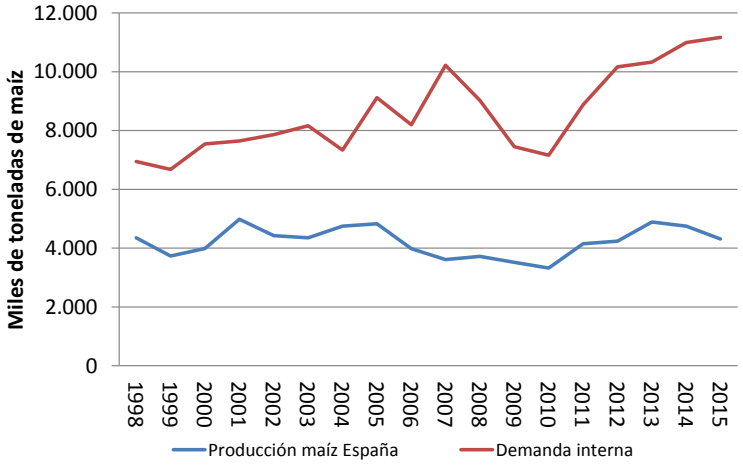
Fuente: Elaboración propia

La agricultura es el sector que supone una mayor ocupación de la tierra, suponiendo su uso y explotación unas emisiones de gases de efecto invernadero del orden de 5.000 millones de t CO_2 eq. anuales para el período 2001-2010 (Tubiello *et al.*, 2014). No obstante, cabe destacar su capacidad para reducir los efectos que contribuyen al cambio climático, como es a través de la fijación de carbono. Es en esta tarea en la que puede contribuir en mayor medida el cultivo del maíz Bt, permitiendo no sólo aumentar la cantidad de CO_2 fijado sino reducir el uso de combustibles fósiles y las emisiones correspondientes a través del menor número de operaciones en campo, como son los tratamientos fitosanitarios requeridos por este tipo de maíz en aquellas zonas afectadas por el taladro.

4. Beneficios del cultivo de maíz Bt sobre el comercio exterior

La demanda interna[12] de maíz en grano ha experimentado desde el año 2010 una tendencia creciente, evidenciando asimismo una diferencia cada vez mayor con respecto a la producción propia de este cereal (ver Figura 5).

Figura 7. Demanda interna y producción de maíz en España



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2015).

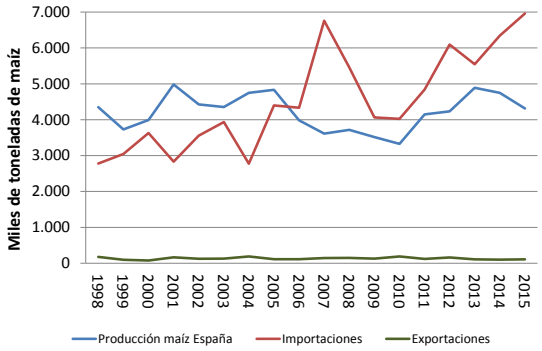
[12] La demanda interna de maíz se define como: Producción de maíz en España + Importaciones – Exportaciones.

Dado que la producción interna no es suficiente para satisfacer la demanda, se hacen necesario realizar importaciones de este cereal. Puede apreciarse que desde el año 2006 las importaciones han superado incluso a la producción propia de maíz (ver Figura 8a). Entre los principales proveedores de maíz a España en 2015 destacan por orden decreciente de importancia Ucrania (36%), Francia (30%), Rumania (6%) y Brasil (8%) (MINECO, 2015).

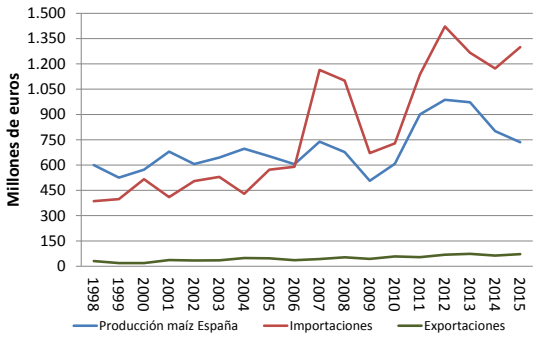
Debido al elevado aumento de los precios de los cereales en los últimos años[13], el mencionado incremento de las importaciones de maíz ha producido un incremento destacable del valor de las importaciones (ver Figura 8b). Así desde el año 2010, el volumen de importaciones ha aumentado un 56% mientras que su valor se ha incrementado en un 93%.

Figura 8. Evolución de producción, importaciones y exportaciones de maíz

8a. Cantidades (miles de toneladas)



8b. Valor (millones de euros)



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2015), clasificación Taric maíz (1005)

Tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, una de las principales ventajas del maíz Bt es su mayor rendimiento en relación a la variedad convencional en las zonas afectadas por la plaga del taladro. De este modo, y teniendo en cuenta las zonas de cultivo del maíz Bt en España, es posible estimar las necesidades de maíz adicionales que hubiesen sido necesarias en caso de que el maíz Bt no hubiese estado disponible para los agricultores. Debido a la inexistencia de datos sobre la extensión de la plaga del taladro en España, se asume que dicha plaga ha estado presente de manera significativa en aquellas regiones en las que la superficie de maíz Bt ha sido superior o igual al 5% del total de la superficie cultivada de maíz durante los últimos 18 años. Estas Comunidades Autónomas (CC.AA.) son Aragón, Cataluña, Navarra, Andalucía, Castilla La Mancha y Extremadura.

Dada la falta de datos oficiales diferenciados de rendimientos de maíz Bt y convencional se ha realizado una revisión de los datos publicados para el caso español en revistas científicas con doble proceso de revisión. La Tabla 4 recoge estas diferencias de rendimientos entre distintos tipos de maíz.

[13] En el caso de maíz el precio medio de las importaciones ha aumentado más del 34% desde el año 1998, el año en el que empezó a cultivarse el maíz Bt en España (MINECO, 1998-2015).

Tabla 4. Diferencias de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional en España

Zona analizada	Incremento del rendimiento del maíz Bt con respecto al convencional (%)	Referencia
Aragón	10,00 (año 1999-2001)	Brookes (2008)
Aragón, Cataluña y Navarra	10,46 (media para los años 2004-2007)	Brookes (2008)
Aragón	12,00 (media para los años 2004-2006)	Gómez-Barbero et al. (2008)*
Cataluña	5,97 (media para los años 2004-2006)	Gómez-Barbero et al. (2008)*
Castilla La Mancha	7,40 (media para los años 2004-2006)	Gómez-Barbero et al. (2008)*
Valle del Ebro	12,64 (año 2009)	Riesgo et al. (2012)*

* Estos datos proceden de estudios publicados en revistas científicas con índice de impacto

Fuente: Elaboración propia

En este trabajo se presentan los resultados obtenidos asumiendo las medias de rendimientos obtenidas de los estudios recogidos en la Tabla 4, y considerando por tanto las siguientes diferencias de rendimientos entre las dos variedades de maíz por zona[14].

Tabla 5. Diferencias asumidas de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional[15]

Comunidad Autónoma	Incremento del rendimiento del maíz Bt con respecto al convencional (%)
Aragón	10,53
Cataluña	8,11
Navarra	9,48
Castilla- La Mancha	7,38
Andalucía	7,38
Extremadura	7,38

Fuente: Elaboración propia

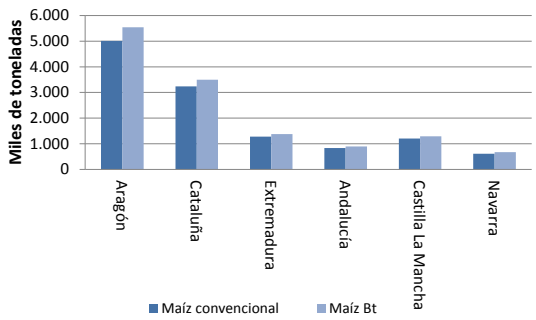
[14] La consideración de todos los estudios publicados para el caso español sigue un enfoque conservador en los cálculos realizados. Tal y como puede verse en el Anexo 1 los resultados obtenidos cuando se utilizan los datos procedentes de artículos publicados en revistas de impacto, y que no tienen en cuenta los estudios realizados por la industria biotecnológica, aportan datos superiores en el valor de las importaciones evitadas.

[15] En el caso de Aragón se ha calculado la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Brookes (2008), Gómez-Barbero et al. (2008) para Aragón y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. En el caso de Cataluña se ha calculado la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Brookes (2008), Gómez-Barbero et al. (2008) para Cataluña y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. Para el caso de Navarra, se ha tomado como referencia la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Brookes (2008) para Cataluña, Aragón y Navarra, Gómez-Barbero et al. (2008) para Aragón y Cataluña, y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. Por último, para el caso de Castilla La Mancha, Andalucía y Extremadura se ha tomado como referencia la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Gómez-Barbero et al. (2008) para Castilla La Mancha.

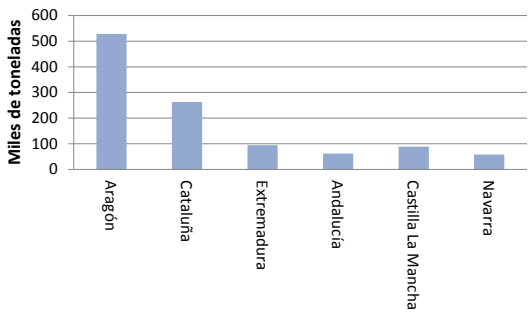
Tomando como referencia las diferencias de rendimientos recogidas en la Tabla 5, y teniendo en cuenta las superficies cultivadas de maíz Bt y convencional en las mencionadas regiones, es posible estimar el rendimiento de ambas variedades de maíz por Comunidad Autónoma desde 2008 a 2015[16].

Figura 9. Producción estimada de maíz

9a. Producción estimada de maíz Bt y convencional



9b. Pérdidas de producción de maíz



Fuente: Elaboración propia

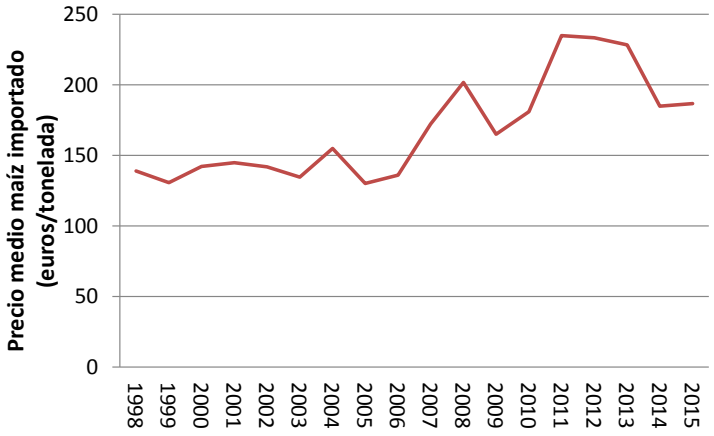
Sobre la base de estas estimaciones, puede calcularse cuál hubiese sido la producción de maíz si la superficie de maíz Bt se hubiese cultivado con maíz convencional en cada región desde el año 1998 a 2015 ('producción proyectada'). La Figura 7a recoge la producción acumulada de maíz Bt y la 'producción proyectada' de maíz convencional para cada región durante los años considerados en el análisis. La diferencia entre la producción de maíz Bt y la 'producción proyectada' de maíz convencional, por región y año, nos permitirá asimismo conocer las pérdidas de producción que se habrían producido en el caso de que el maíz Bt no hubiese estado disponible para los agricultores (ver Figura 9b). Dichas pérdidas agregadas ascienden a 1.093.868 toneladas para el período de tiempo analizado.

16

$$Rendimiento\ maíz\ por\ CC.AA. = Rendimiento\ maíz\ Bt \cdot \left(\frac{Superficie\ maíz\ Bt}{Superficie\ total\ maíz}\right) + Rendimiento\ maíz\ convencional \cdot \left(\frac{Superficie\ maíz\ convencional}{Superficie\ total\ maíz}\right).$$

Los datos de rendimiento de maíz por Comunidad Autónoma (CC.AA.), superficie de maíz Bt y superficie total de maíz son datos recogidos del MAGRAMA (1999-2012). Teniendo en cuenta las diferencias asumidas de rendimientos recogidas en la Tabla 3, se han podido estimar los rendimientos del maíz Bt y el maíz convencional.

Figura 10. Evolución del precio medio del maíz importado en España



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2015)

Estas pérdidas de producción habrían supuesto un incremento de las importaciones de maíz para cubrir la demanda interna española durante los mencionados años (importaciones evitadas por el cultivo del maíz Bt). Teniendo en cuenta el precio medio de las importaciones de maíz realizadas por España durante los años 1998 a 2015[17] (Figura 10) es posible calcular el valor de dichas importaciones evitadas.

Tabla 6.Valor actualizado de las importaciones evitadas por CC.AA.

Comunidad Autónoma	**Valor importaciones evitadas (euros del año 2016)**
Aragón	93.036.915
Cataluña	46.409.743
Navarra	10.447.266
Castilla- La Mancha	13.770.789
Andalucía	11.373.874
Extremadura	17.793.580
TOTAL	*192.832.167*

Fuente: Elaboración propia.

Así, el valor actualizado[18] de las importaciones de maíz evitadas gracias a la adopción de maíz Bt en España entre los años 1998 y 2015 ascendería a casi 193 millones de euros de 2016 (ver Tabla 6).

[17] El precio medio de las importaciones de maíz se ha calculado a través de la expresión: $Precio\ medio = \frac{Valor\ de\ las\ importaciones\ maíz}{Cantidad\ importada\ maíz}$, utilizando los valores proporcionados por MINECO para los años 1998-2015.

[18] El valor de las importaciones evitadas en cada año se ha actualizado para el año 2016, utilizando los coeficientes proporcionados por el INE.

5. Conclusiones

La superficie de maíz Bt en España ha aumentado desde su introducción en el año 1998, mostrando una aceleración en su crecimiento desde el año 2010. La adopción de este cultivo durante estos 18 años ha supuesto numerosas ventajas en el plano agronómico, económico y de manejo del cultivo, así como para el comercio exterior y el medio ambiente.

Desde el punto de vista *agronómico*, la resistencia del maíz Bt al taladro provoca que ante la presencia de la plaga este maíz genere mayores rendimientos que el homólogo convencional. Según algunos estudios, estas diferencias medias de rendimiento varían entre el 7,38% y el 10,53% en función de la zona analizada y de la extensión de la plaga. La adopción de este cultivo también presenta beneficios en relación a la calidad del cultivo como consecuencia del menor contenido en fumonisinas (micotoxinas) en el maíz.

El mayor rendimiento del maíz Bt se traduce en *beneficios económicos* adicionales para el agricultor, debido al mayor margen bruto que se genera en relación al maíz convencional. Esta diferencia de margen bruto, al igual que el rendimiento varía oscilando entre el 3,17 y 147 euros/ha en función de la zona y del año de estudio. Además de los beneficios económicos, los agricultores también apuntan a otros motivos relacionados con la *facilidad de manejo* del cultivo para explicar la adopción del maíz Bt. Entre estos motivos destacan la reducción del tiempo de inspección de la explotación, de la fase de recolección del maíz o del número de tratamientos insecticidas.

Aparte de los beneficios económicos directos para el agricultor, el maíz Bt también ha generado beneficios para el *comercio exterior* español. Así, el cultivo de maíz Bt ha permitido a España abastecer en mayor medida su demanda interna de maíz, y no recurrir a importaciones adicionales de este cereal. En concreto, el valor de la demanda evitada de importaciones de maíz como consecuencia de la adopción de maíz Bt durante los 18 años de cultivo asciende a casi 193 millones de euros.

Por último, cabe señalar que además de los beneficios derivados del maíz Bt para los agricultores y para la balanza comercial española de maíz (función comercial de la producción de maíz), se han generado otra serie de beneficios no monetarios y relacionados con la *función ambiental* de la agricultura.

Así se distinguen beneficios derivados del menor uso de insecticidas, el menor uso del agua de riego por tonelada de maíz producida y la mayor fijación de carbono. Así, la optimización del uso de insecticidas se traduce en beneficios sobre la biodiversidad. Tal y como se ha mencionado anteriormente, el maíz Bt genera mayores rendimientos que el maíz convencional, lo cual se traduce a su vez en un menor consumo de agua de riego por tonelada de maíz producida. Este ahorro de agua se ha estimado en 615.778 miles de m^3 durante los 18 años del cultivo, lo cual equivaldría al abastecimiento de casi 746.000 personas por año (el equivalente a las ciudades españolas de Lérida, Tarragona y Badajoz, juntas). Si se tiene en cuenta todo el proceso productivo del maíz en grano y su repercusión sobre los recursos hídricos a nivel global, la adopción de maíz Bt en España ha evitado una huella hídrica de casi 1.335 millones de m^3.

El cultivo del maíz Bt en España también ha contribuido a aliviar la presión sobre el uso de la tierra, ya que mantener el mismo nivel de producción de maíz durante los 18 años de cultivo habría supuesto el cultivo de 106.775 hectáreas adicionales de maíz convencional. Por último, y teniendo en cuenta la capacidad del maíz como sumidero natural de CO_2, el maíz Bt ha supuesto una fijación neta de carbono adicional de 849.935 t CO_2 eq. permitiendo compensar las emisiones de 25.004 coches en España durante un año.

6. Bibliografía

- Agustí, N., Bourquet, D., Spataro, T., Delos, M., Eychenne, N., Folcher, L. y Arditi, R. (2005). Detection, identification and geographical distribution of European corn borer larval parasitoids using molecular markers. Molecular Ecology, 14: 3267-3274.
- Altuna, A., Lafarga, A., del Hierro, O., Unamunzaga, O., Besga, G., Domench, F. y Sopelana, A. (2012). Huella de carbono de los cereales: análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector agroalimentario. Navarra Agraria, 194: 31-38.
- Areal, F.J., Riesgo, L. (2015). Probability functions to build composite indicators: A methodology to measure environmental impacts of genetically modified crops. Ecological Indicators, 52: 498-516.
- Areal, F.J., Riesgo, L. y Rodríguez-Cerezo, E. (2013). Economic and agronomic impact of commercialized GM crops: a meta-analysis. Journal of Agricultural Science, 151: 7-33.
- Barwale, R.B., Gadwal, V.R., Zehr, U. y Zehr, B. (2004). Prospects for Bt cotton technology in India. AgBioForum, 7: 23-26.
- Bennett, R., Ismael, Y., Morse, S. y Shankar, B. (2004). Reductions in insecticide use from adoption of Bt cotton in South Africa: impacts on economic performance and toxic load to the environment. Journal of Agricultural Science, 142: 665-674.
- Brookes, G. (2002). The farm level impact of using Bt maize in Spain. Agricultural Biotechnology in Europe - ABE: 1-23.
- Brookes, G. (2008). The impact of using GM insect resistant maize in Europe since 1998. International Journal of Biotechnology, 10: 148-166.
- Brookes, G. y Barfoot, P. (2012). Global impact of biotech crops. Environmental effects, 1996–2010. GM Crops and Food: Biotechnology in Agriculture and the Food Chain, 3: 129–137.
- Carpenter, J.E. (2010). Peer-reviewed surveys indicate positive impact of commercialized GM crops. Nature Biotechnology, 28: 319-321.
- Demont, M. y Tollens, E. (2004). First impact of biotechnology in the EU: Bt maize adoption in Spain. Annals of Applied Biology, 145: 197-207.
- DGT, Dirección General de Tráfico (2011). Anuario Estadístico General 2011. Dirección General de Tráfico- Ministerio del Interior, Madrid.
- Diario de Navarra (2012). El canal alumbra nuevos cultivos. Cuatro regantes dan voz al cambio que se ha producido en el campo navarro. 18 de noviembre. Disponible en: https://www.serina.es/empresas/aeryd/documentos/ReportajeCanaldeNavarra.pdf.
- DRAP- Direcção Regional de Agricultura e Pescas (2015). Evolução da área de milho genéticamente modificado. Direcção Regional de Agricultura e Pescas.
- eAGRI- The Ministry of Agriculture of the Czech Republic (2013). Geneticky modifikované kukuřice se letos v České republice vypěstuje méně. Ministry of Agriculture of the Czech Republic.
- Ervin, D., Carrière, Y., Cox, W.J., Fernandez-Cornejo, J., Jussaume, R.A., Marra, M.C., Owen, M.D.K., Raven, P.H., Wolfenbarger, L.L. y Zilberman, D. (2010). Impact of genetically engineered crops on farm sustainability in the United States. National Academy of Press, Washington D.C.
- FAO- Food and Agriculture Organization of the United Nations (2003). Manual on the Application of the HACCP System in Mycotoxin Prevention and Control. FAO, Rome.

- Farinós, G.P., de la Poza, M., Hernández-Crespo, P., Ortego, H. y Castañera, P. (2004). Resistance monitoring of field populations of the corn borers Sesamia nonagrioides and Ostrinia nubilalis after 5 years of Bt maize cultivation in Spain. Entomologia Experimentalis et Applicata, 110: 23-30.
- Folcher, L., Delos, M., Marengue, E., Jarry, M., Weissenberger, A., Eychenne, N. y Regnault-Roger, C. (2010). Lower mycotoxin levels in Bt maize grain. Agronomy for Sustainable Development, 30: 1-9.
- Fundación Antama (2012). Encuesta anual a agricultores usuarios de semillas de maíz Bt en España (campaña, 2012). Fundación Antama, Madrid.
- Gandhi, V.P. y Namboodiri, N.V. (2006). The Adoption and Economics of Bt Cotton in India. Indian Institute of Management, Ahmedabad, India.
- GENVCE- Grupo para la evaluación de nuevas variedades de cereales en España (2007). Evaluación de las nuevas variedades de maíz para grano en España. Vida Rural, 245: 70-75.
- Gianessi, L.P., Silvers, C.S., Sankula, S. y Carpenter, J.E. (2002). Plant biotechnology: Current and potential impact for improving pest management in U.S. agriculture. An analysis of 40 case studies. National Center for Food and Agricultural Policy, Washington, DC.
- Gómez-Barbero, M., Berbel, J. y Rodríguez-Cerezo, E. (2008). Bt corn in Spain – the performance of the EU's first GM crop. Nature Biotechnology, 26: 384-386.
- Hammond, B.G., Campbell, K.W., Pilcher, C.D., Degooyer, T.A., Robinson, A.E., McMillen, B.L., Spangler, S.M., Riordan, S.G., Rice, L.G. y Richard, J.L. (2004). Lower fumonisin mycotoxin levels in the grain of Bt corn grown in the United States in 2000-2002. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52: 1390-1397.
- Hoekstra, A.Y. (2003). Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade, Delft, The Netherlands, 12–13 December 2002, Value of Water Research Report Series No. 12, UNESCO-IHE, Delft, The Netherlands.
- Hoekstra, A.Y. y Chapagain, A.K. (2008). Globalization of water: Sharing the planet's freshwater resources. Blackwell Publishing, Oxford (UK).
- Huesing J. y English, L. (2004). The impact of Bt crops on the developing world. AgBioForum, 7: 84-95.
- IDAE- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (2015). Consumo de Carburante y Emisiones de CO2 en Coches Nuevos. Disponible en: http://coches.idae.es/
- INE- Instituto Nacional de Estadística (2015a). Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua 2013. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en: http://www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2911
- INE- Instituto Nacional de Estadística (2015b). Población por capitales de provincia y sexo. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en: http://www.ine.es/prensa/np934.pdf
- INE- Instituto Nacional de Estadística (2010). Encuesta de hogares y medio ambiente 2008. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en: http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=%2Ft25%2Fp500&file=inebase&L=0
- James, C. (1997-2004). Global Status of Transgenic crops: 1996-2003. ISAAA, New York.
- James, C. (2005-2016). Global Status of Commercialized Biotech/GM crops: 2004- 2015. ISAAA, New York.
- López-Querol, A., Serra, J., Capellades, G. y Betbesé, J.A. (2013). Noves varietats de Blat de Moro per a gra. Dossier Tècnic Formación y asesoramiento al sector agrario, 60: 3-15.

- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (1998-2013). Estimación superficie cultivada de maíz MON 810 por provincias. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/biotecnologia/organismos-modificados-geneticamente-omg-/consejo-interministerial-de-ogms/superficie.aspx
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (1999-2015). Anuarios de Estadística 1999-2015. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2016). Boletín Mensual de Estadística. Enero 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013a). Plan Especial del Alto Guadiana. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Disponible en: http://www.chguadiana.es/?url=32&corp=chguadiana&lang=es.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013b). Plan Hidrológico de la demarcación. Confederación Hidrográfica del Guadalquivir. Disponible en: http://www.chguadalquivir.es/opencms/portalchg/marcoLegal/planHidrologicoCuenca/.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013e). Plan Hidrológico 2010-2015. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Disponible en: http://planhidrologico2009.chguadiana.es/?url=61.
- Marín, S.; Ramos, A.J.; Cano-Sancho, G. y Sanchis, V. (2012). Reduction of mycotoxins and toxigenic fungi in the Mediterranean basin maize chain. Phytopathologia Mediterranea, 51(1): 93-118.
- Mekonnen, M.M. y Hoekstra, A.Y. (2011). The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. Hydrology and Earth System Sciences, 15: 1577–1600.
- MINECO- Ministerio de Economía y Competitividad (1998-2015). Datacomex - Estadísticas del Comercio exterior. Disponible en: http://datacomex.comercio.es/
- Ministerstvo pôdohospodárstva a rozvoja vidieka Slovenskej Republiky (2007-2015). Informácia o vysiatej ploche geneticky modifikovanej kukurice MON 810.
- Ministerul Mediului, Apelor și Pădurilor. Agenția Națională pentru Protecția Mediului (2006-2015). Public registry of commercially cultivated GMO crops locations.
- Mutuc, M.E., Rejesus, R.M. y Yorobe, Jr., J.M. (2011). Yields, insecticide productivity, and Bt corn: Evidence from damage abatement models in the Philippines. AgBioForum, 14: 35-46.
- Qaim, M. (2009). The Economics of Genetically Modified Crops. Annual Review of Resource Economics, 1: 665-694.
- Qaim, M., Subramanian, A., Naik, G. y Zilberman, D. (2006). Adoption of Bt cotton and impact variability: insights from India. Review of Agricultural Economics, 28: 48-58.
- Riesgo, L. y Areal, F.J. (2013). Cultivos modificados genéticamente y sostenibilidad agraria en J.A. Gómez-Limón y E. Reig (eds.) La sostenibilidad de la agricultura española: 303-331. Fundación Cajamar, Almería.
- Riesgo, L., Areal, F.J. y Rodríguez-Cerezo, E. (2012). How can specific market demand for non-GM maize affect the profitability of Bt and conventional maize? A case study for the middle Ebro Valley, Spain. Spanish Journal of Agricultural Research, 10: 867-876.

- Rufat-Lamarca, J., Girona, J., Arbonés, A., Marta, M. y del Campo, J. (2006). Mejora de la eficiencia del agua de riego en maíz. Dossier Tècnic Formación y asesoramiento al sector agrario, 11: 3-6.
- Sánchez-Chóliz, J. y Sarasa, C. (2013). Análisis de los recursos hídricos de Riegos del Alto Aragón (Huesca) en la primera década del siglo XXI. Economía Agraria y Recursos Naturales, 13: 97-124.
- Tubiello, F.N. , Salvatore, M., Cóndor Golec, R.D., Ferrara, A., Rossi, S., Biancalani, R., S. Federici, S., Jacobs, H., Flammini, A. (2014). Agricultura, Silvicultura y otros Usos de la Tierra. Emisiones por fuentes y absorciones por sumideros. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, Roma.
- Wang, S., Just, D.R. y Pinstrup-Andersen, P. (2008). Bt-cotton and secondary pests. International Journal of Biotechnology, 10: 113-121.
- Wesseler, J., Scatasta, S. y Fall, E.H. (2011). The Environmental Benefits and Costs of Genetically Modified (GM) Crops en O. de La Grandville (ed.) Economic Growth and Development (Frontiers of Economics and Globalization, Volume 11): 173-199. Emerald Group Publishing.
- Wu, F. (2006). Mycotoxin reduction in Bt corn: potential economic, health and regulatory issues. Transgenic Research, 15: 277-289.

ANEXO 1

Teniendo en cuenta únicamente los datos publicados en revistas científicas de impacto (Gómez-Barbero et al., 2008, y Riesgo et al., 2012), las diferencias medias de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional serían las recogidas en la siguiente tabla:

Tabla A1. Diferencias asumidas de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional[19]

Comunidad Autónoma	Incremento del rendimiento del maíz Bt con respecto al convencional (%)
Aragón	11,81
Cataluña	7,64
Navarra	9,72
Castilla- La Mancha	7,38
Andalucía	7,38
Extremadura	7,38

¿Fuente?

Así, en base a estos datos de diferencias de rendimientos, se estima la 'producción proyectada' de maíz si la superficie de maíz Bt se hubiese cultivado con maíz convencional en cada región desde el año 1998 a 2015. La diferencia entre la producción de maíz Bt y la 'producción proyectada' de maíz convencional, por región y año, nos permite estimar unas pérdidas de producción que ascenderían a 1.140.976 toneladas.

Teniendo en cuenta el precio medio de las importaciones de maíz realizadas por España durante los años 1998 y 2015 (Figura 10) es posible calcular el valor de dichas importaciones evitadas.

Tabla A2.Valor actualizado de las importaciones evitadas por CC.AA.

Comunidad Autónoma	Valor importaciones evitadas (euros del año 2011)
Aragón	103.587.605
Cataluña	43.855.499
Navarra	10.706.181
Castilla- La Mancha	13.770.789
Andalucía	11.373.874
Extremadura	17.793.580
TOTAL	*201.087.528*

Fuente: Elaboración propia.

[19] En el caso de Aragón se ha calculado la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Gómez-Barbero et al. (2008) para Aragón y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. En el caso de Cataluña se ha calculado la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Gómez-Barbero et al. (2008) para Cataluña y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. Para el caso de Navarra, se ha tomado como referencia la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Gómez-Barbero et al. (2008) para Aragón y Cataluña, y Riesgo et al. (2012) para el total del Valle del Ebro. Por último, para el caso de Castilla La Mancha, Andalucía y Extremadura se ha tomado como referencia la media aritmética de las diferencias de rendimientos publicadas por Gómez-Barbero et al. (2008) para Castilla La Mancha.

Así, el valor actualizado de las importaciones de maíz evitadas gracias a la existencia de maíz Bt en España durante los años 1998 y 2015 ascendería a más de 201 millones de euros de 2011. Esta cifra es superior a la recogida en el texto principal del trabajo (192.832.167 euros de 2016), lo cual evidencia el enfoque conservador seguido en la estimación del valor de las importaciones evitadas de maíz.