



‘15 años de cultivo de maíz Bt en España: beneficios económicos, sociales y ambientales’

Dra. Laura Riesgo Álvarez

ÍNDICE

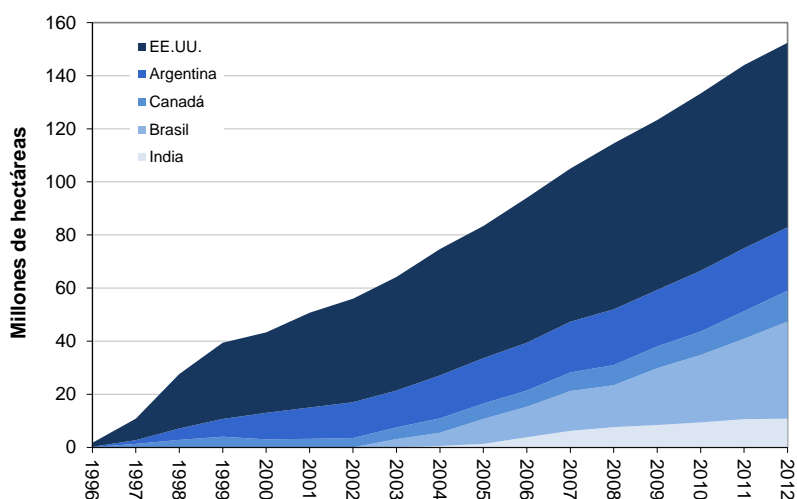
1. Introducción	3
2. Razones que explican la adopción del cultivo en España	6
2.1. <i>Razones agronómicas</i>	6
2.2. <i>Razones económicas</i>	8
2.3. <i>Razones relacionadas con la facilidad de manejo de cultivo</i>	9
2.4. <i>Otras razones no monetarias</i>	9
3. Efectos del cultivo de maíz Bt sobre el comercio exterior	10
4. Efectos del cultivo del maíz Bt sobre el medio ambiente	14
4.1. <i>Uso de plaguicidas</i>	14
4.2. <i>Uso de agua de riesgo</i>	15
4.3. <i>Huella hídrica</i>	16
4.4. <i>Fijación de carbono</i>	17
5. Conclusiones	18
Bibliografía	19
Anexos	23

15 AÑOS DE CULTIVO DE MAÍZ Bt EN ESPAÑA: BENEFICIOS ECONÓMICOS, SOCIALES Y AMBIENTALES

1. Introducción

Los cultivos modificados genéticamente (MG) han experimentado una fuerte expansión desde los inicios de su comercialización en 1996, ocupando en el año 2012 una superficie total de 170,3 millones de hectáreas (James, 2013). Cabe destacar especialmente la superficie de cultivo registrada en Estados Unidos, alcanzando los 69,5 millones de hectáreas, seguido por Brasil (36,6 millones de hectáreas), Argentina (23,9 millones de hectáreas), Canadá (11,6 millones de hectáreas) e India (10,8 millones de hectáreas). La evolución de la superficie total cultivada con variedades modificadas genéticamente en estos países puede observarse en la Figura 1.

Figura 1. Evolución de la superficie cultivada con variedades MG por país



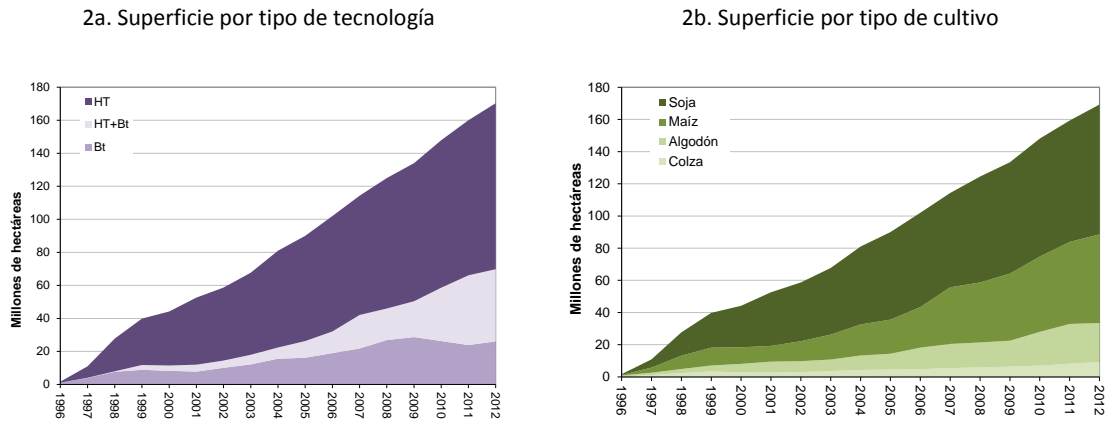
Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2013)

Dentro de los cultivos modificados genéticamente destacan principalmente dos tipos de tecnologías, los cultivos resistentes a herbicidas (cultivos HT) que suponen un 59% del total, y los cultivos resistentes a determinadas plagas (cultivos Bt¹) que ocupan el 15%. Conviene señalar también la tecnología de cultivos resistentes a herbicidas y a determinadas plagas (cultivos con tratamientos combinados o 'stacked'), que suponen un 26%. La tendencia muestra que los cultivos stacked son los que están experimentando una mayor progresión, de modo que desde el año 2010 han experimentado un crecimiento del 35%, mientras que los cultivos HT han aumentado un 12% y los cultivos Bt prácticamente han mantenido constante su superficie (Figura 2a).

¹ Los cultivos Bt son cultivos modificados genéticamente a los que se les han introducido genes de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, que está presente naturalmente en el suelo. Esta bacteria tiene una función insecticida al ser tóxica para ciertos insectos lepidópteros presentes en los cultivos.

Esta distribución está asimismo relacionada con los cultivos con mayor presencia mundial que son, por orden de importancia, la soja (47,5% de la superficie total de cultivos modificados genéticamente), el maíz (32,4%), el algodón (14,3%) y la colza (5,4%) (Figura 2b), donde la soja y la colza son cultivos HT mientras que el maíz y el algodón aúnan los tres tipos de tratamientos (HT, Bt y stacked).

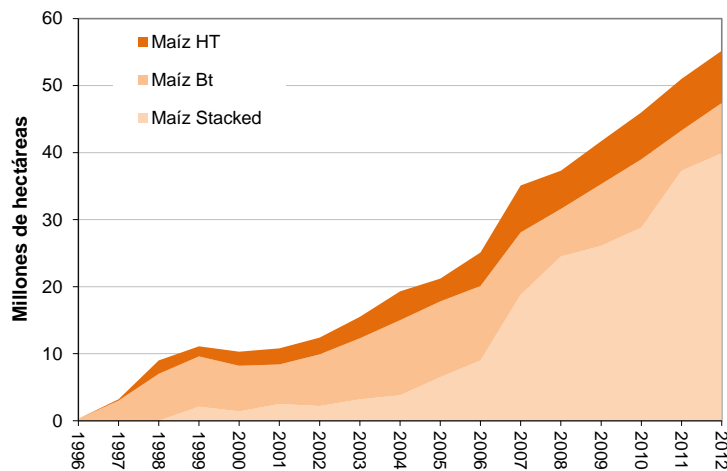
Figura 2. Evolución de la superficie mundial cultivada con variedades MG



Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2013)

Para el caso particular del cultivo que nos ocupa, el maíz, la Figura 3 muestra la evolución de su cultivo por tipo de tratamiento, observándose que el maíz stacked es el que ha presentado una mayor evolución en los últimos años, siguiendo la misma tendencia que la mencionada anteriormente para el total de los cultivos modificados genéticamente. La superficie de maíz HT en los últimos años muestra un ligero estancamiento en su crecimiento, y en el caso del maíz Bt se observa incluso un retroceso en los años 2011 y 2012 en favor de los cultivos con tratamientos combinados.

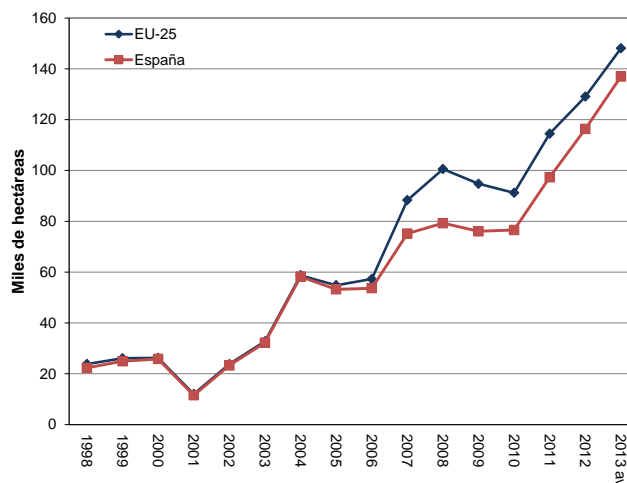
Figura 3. Evolución de la superficie mundial de maíz modificado genéticamente



Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2013)

En el caso europeo, llama la atención la baja superficie destinada a cultivos modificados genéticamente, con un total de 129.071 hectáreas en 2012 y una previsión de 148.000 hectáreas para 2013² (ver Figura 4). Esto se debe en parte a que sólo hay dos cultivos modificados genéticamente aprobados para su cultivo en la Unión Europea (UE): el maíz Bt (maíz resistente a la plaga del taladro) y la patata Amflora. Cabe señalar asimismo que a pesar de que la patata Amflora fue aprobada para su cultivo y comercialización en 2010 por las autoridades europeas, en el año 2012 este producto dejó de estar disponible debido a que la empresa BASF decidió detener la comercialización y el desarrollo de todos los productos dirigidos exclusivamente al mercado europeo, concentrándose en los principales mercados en Norte y Sur América y crecimiento de los mercados asiáticos. Así, el total de hectáreas de cultivos modificados genéticamente en 2012 y 2013 se corresponde con maíz Bt (129.071 y 148.000 hectáreas respectivamente). Destaca el hecho de que la superficie de maíz Bt se concentra mayoritariamente en España, suponiendo el 90% de su superficie de la UE para el año 2012 y el 92% para el año 2013. A pesar de la reducida presencia del maíz Bt en la UE, puede verse que su superficie sigue una tendencia claramente creciente, al igual que en otros países.

Figura 4. Evolución de la superficie de maíz Bt en la UE-25 y España

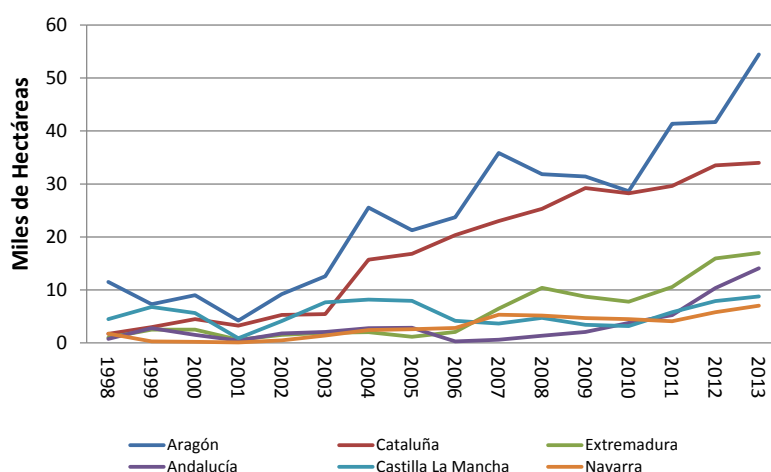


Fuente: Elaboración propia a partir de James (1997-2012), MAGRAMA (2013), DRAP (2013) y eAGRI (2013)

En el caso particular de España, el cultivo del maíz Bt se concentra mayoritariamente en Cataluña y Aragón, con un 65% del total de hectáreas, seguido de Extremadura (12%), Andalucía (10%), Castilla La Mancha (6%) y Navarra (5%), para el año 2013. 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 2013 publicados por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), en estos últimos 4 años se observan crecimientos de la superficie de maíz Bt por encima del 100% en Extremadura, Castilla La Mancha y Andalucía, registrando en esta última un crecimiento del 273%.

² La superficie avanzada para la UE en el año 2013 se ha estimado a partir de datos definitivos de superficie de España y de datos previstos de superficie en el caso de Portugal y República Checa, información publicada por los respectivos Ministerios de Agricultura (MAGRAMA, 2013; DRAP, 2013 y e-AGRI, 2013). Para el resto de países (Polonia, Rumanía y Eslovaquia) se ha asumido la misma superficie que en el año 2012.

Figura 5. Evolución de la superficie de maíz Bt por Comunidad Autónoma



Fuente: Elaboración propia a partir de MAGRAMA (1999-2013).

2. Razones que explican la adopción del cultivo en España

El mencionado crecimiento de la superficie de maíz Bt en España puede explicarse atendiendo a distintas razones agronómicas, económicas y de percepción 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 mundial³ el maíz Bt alcanza un rendimiento medio de 0,55 ton/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 ton/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 ton/ha. Gómez-Barbero et al. (2008) analizan diferencias de rendimientos en tres zonas diferenciadas: Albacete, Lleida y Zaragoza, que varían entre 1,19 y -0,16 ton/ha. Por su parte Riesgo et al. (2012) muestran una diferencia de rendimiento, estadísticamente significativa, de 1,34 ton/ha en la zona del valle del Ebro en 2009.

³ 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 (ton/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.)
	Lleida	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, los cultivos Bt no registrarán diferencias importantes de rendimiento en relación a los cultivos convencionales.

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 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 fumonisinas⁴, 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.

⁴ 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 uso de insecticidas. Así, la resistencia a la plaga del taladro incorporada al cultivo a través de la modificación genética produce un menor uso de insecticidas que permite reducir los costes derivados del uso de plaguicidas 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 del año 2000/ha. Cabe señalar que en estos costes de producción se consideran tanto los costes de adquisición de la semilla como los costes derivados de los plaguicidas 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 plaguicidas. A pesar de este mayor coste de adquisición de la semilla, Areal et al. (2013) muestran que el maíz Bt a nivel mundial alcanza una rentabilidad media de 52,81 euros del año 2000/ha⁵ 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 infestación 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 Lleida, 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 del año 2010/ha 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 elevados⁶ y que no haya diferencias en los precios percibidos por el agricultor entre las dos variedades de maíz en grano⁷, 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 5.

⁵ En este análisis se incluyen 16 observaciones procedentes de artículos científicos publicados en revistas internacionales, incluyendo datos de países en desarrollo y países desarrollados.

⁶ Los costes de producción diferenciales para el maíz Bt $\{(coste\ adquisición\ semilla\ Bt - coste\ adquisición\ semilla\ convencional) + (coste\ plaguicidas\ Bt - coste\ plaguicidas\ convencional)\}$ 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 Lleida 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 plaguicidas (6,41 euros/ha inferiores) en el caso del maíz Bt respecto al maíz convencional.

⁷ Riesgo et al. (2012) muestran que no existen diferencias significativas entre los precios percibidos por el agricultor por el maíz Bt en grano y el maíz convencional en grano en el valle del Ebro.

2.3. Razones relacionadas con la facilidad de 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 la facilidad de uso del cultivo (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, 2012⁸). 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 no sólo facilitan al agricultor el manejo del cultivo, sino que también afectan a sus costes de producción. Así, el menor número de tratamientos y la mayor rapidez en la fase de cosecha⁹ permiten reducir los costes de gasóleo y energía asociados a esta actividad agraria. Por su parte, 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.

2.4. Otras razones no monetarias

Además de las razones anteriormente mencionadas, pueden apuntarse otra serie de motivos no monetarios que también favorecen la adopción del maíz Bt. En este sentido cabe señalar que el cultivo de esta variedad de maíz genera una reducción del riesgo de cosecha¹⁰ ante la existencia de la plaga del taladro. De este modo, la adquisición de semillas de maíz Bt por parte del agricultor puede considerarse equivalente a la contratación de un seguro de cosecha que le permita cubrir las pérdidas que pueda originar el taladro sobre su producción. La adopción de maíz Bt genera así una disminución del riesgo que afrontan los agricultores, especialmente en aquellas zonas donde el ataque del taladro es variable.

Por último cabe mencionar que los plaguicidas utilizados en las variedades convencionales para combatir el taladro presentan elevadas toxicidades (Mutuc et al., 2011). La reducción en el uso de estos plaguicidas que ofrece el maíz Bt puede tener asimismo un efecto positivo en la salud de los agricultores debido a su menor exposición a productos tóxicos.

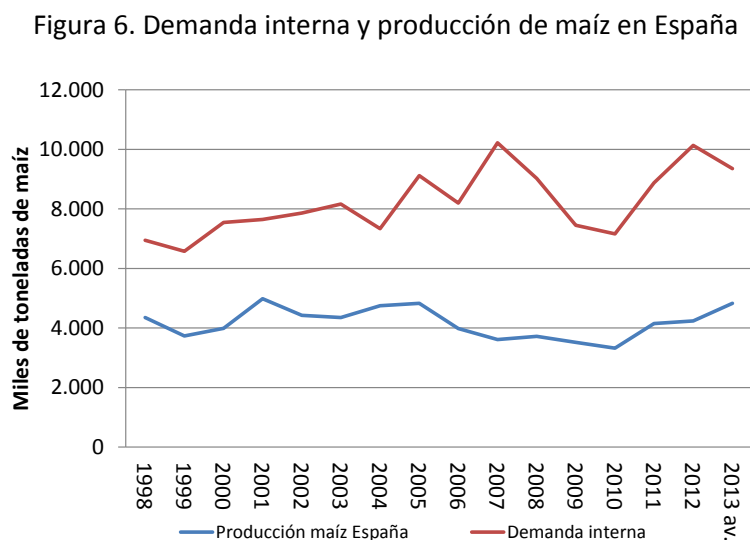
⁸ Encuesta anual a agricultores usuarios de semillas de Maíz Bt (campana 2012). Encuesta realizada a 200 cultivadores de maíz (>5 ha), usuarios de semillas Bt durante la campana 2012.

⁹ 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.

¹⁰ El riesgo de cosecha hace referencia al daño que puede sufrir una explotación agraria por la pérdida de parte de la producción.

3. Efectos del cultivo del maíz Bt sobre el comercio exterior

La demanda interna¹¹ de maíz en grano ha experimentado desde el año 2010 una tendencia creciente¹², evidenciando asimismo una diferencia cada vez mayor con respecto a la producción propia de este cereal (ver Figura 6).



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2013)

Dada la incapacidad de la producción interna para satisfacer la demanda, la economía española necesita realizar importaciones de este cereal. Puede apreciarse que entre los años 2006 y 2012 las importaciones han superado incluso a la producción propia de maíz (ver Figura 7a). Entre los principales proveedores de maíz a España en 2012 destacan por orden decreciente de importancia Ucrania (47%), Francia (29%), Rusia (6%) y Serbia (4%) (MINECO, 2012).

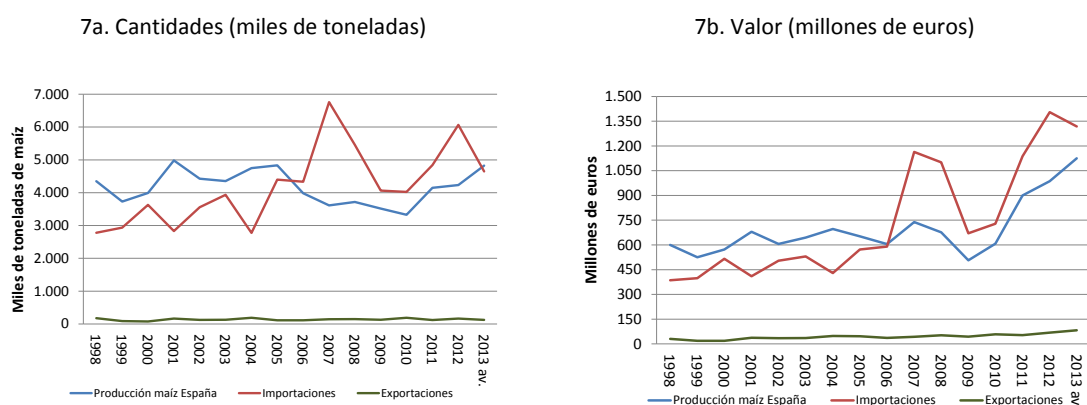
Debido al elevado aumento de los precios de los cereales en los últimos años¹³, el mencionado incremento de las importaciones de maíz ha producido un incremento destacable del valor de las importaciones (ver Figura 7b). Así desde el año 2010, el volumen de importaciones había aumentado un 56% hasta el año 2012 (último año con datos definitivos), mientras que su valor se incrementó en un 93%.

¹¹ La demanda interna de maíz se define como: Producción de maíz en España + Importaciones – Exportaciones.

¹² Los datos del año 2013 en relación a las exportaciones e importaciones de maíz son estimaciones realizadas en base a los datos publicados hasta el mes de agosto de 2013 (MINECO, 2013). Para los meses de septiembre a diciembre se ha asumido que los datos de importaciones y exportaciones seguirán la misma tendencia de crecimiento que en el año 2012.

¹³ Los cereales han experimentado un incremento del 144% desde el año 2005, debido principalmente al aumento de los precios del trigo y del maíz (MAGRAMA, 2013a).

Figura 7. Evolución de producción, importaciones y exportaciones de maíz



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2013), 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 de esta variedad modificada genéticamente en España, es posible estimar las necesidades de maíz adicionales que hubiesen sido necesarias en caso de que esta variedad de maíz 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 16 años. Estas Comunidades Autónomas (CC.AA.) son Aragón, Cataluña, Navarra, Castilla La Mancha, Andalucía 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 proceso de revisión por pares. La Tabla 2 recoge estas diferencias de rendimientos entre distintos tipos de maíz.

Tabla 2. 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 2, y considerando por tanto las siguientes diferencias de rendimientos entre las dos variedades de maíz por zona¹⁴.

Tabla 3. Diferencias asumidas de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional¹⁵

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

Tomando como referencia las diferencias de rendimientos recogidas en la Tabla 3, 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 2013¹⁶.

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.

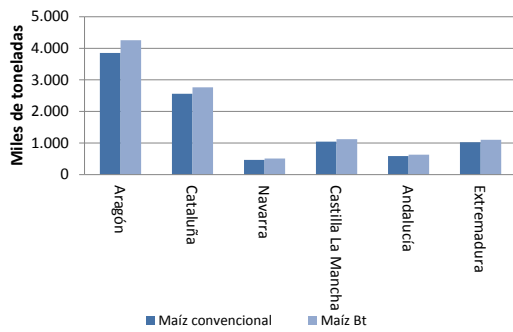
¹⁶

Rendimiento maíz por CC. AA. =

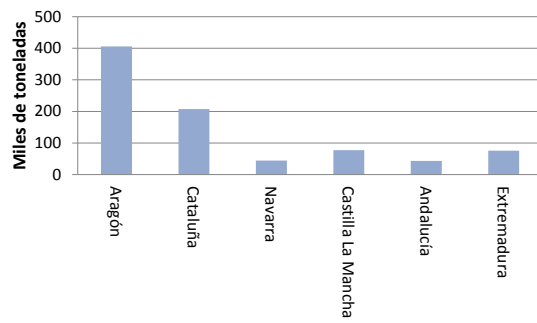
$$\text{Rendimiento maíz Bt} \cdot \left(\frac{\text{Superficie maíz Bt}}{\text{Superficie total maíz}} \right) + \text{Rendimiento maíz convencional} \cdot \left(\frac{\text{Superficie maíz convencional}}{\text{Superficie total maíz}} \right).$$

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 (1999-2013). 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.

8a. Producción estimada de maíz Bt y convencional



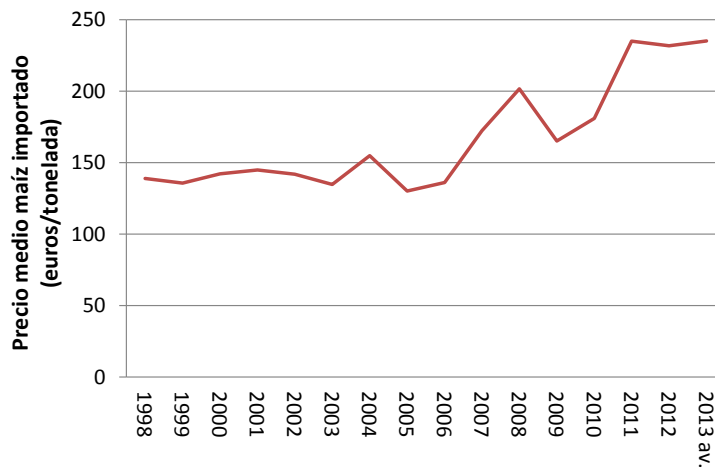
8b. Pérdidas de producción de maíz



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 2013 ('producción proyectada'). La Figura 8a 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 8b). Dichas pérdidas agregadas ascienden a 853.201 toneladas para el período de tiempo analizado.

Figura 9. Evolución del precio medio del maíz importado en España



Fuente: Elaboración propia a partir de MINECO (1998-2013)

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 y 2013¹⁷ (Figura 9) es posible calcular el valor de dichas importaciones evitadas.

Tabla 4. Valor actualizado de las importaciones evitadas por CC.AA.

Comunidad Autónoma	Valor importaciones evitadas (euros del año 2013)
Aragón	73.966.641
Cataluña	38.051.080
Navarra	8.222.524
Castilla- La Mancha	12.282.318
Andalucía	8.348.257
Extremadura	14.982.832
TOTAL	155.853.652

Fuente: Elaboración propia.

Así, el valor actualizado¹⁸ de las importaciones de maíz evitadas gracias a la adopción de maíz Bt en España durante los años 1998 y 2013 ascendería a casi 156 millones de euros de 2013 (ver Tabla 4)¹⁹.

4. Efectos del cultivo del 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 el menor uso de plaguicidas, la menor necesidad de agua de riego por tonelada de maíz producida y huella hídrica y la mayor fijación de carbono.

4.1. Uso de plaguicidas

Tal y como han puesto de manifiesto numerosos autores, los cultivos Bt originan disminuciones en el número de tratamientos insecticidas realizados en la explotación contra las plagas de determinados insectos lepidópteros y coleópteros²⁰ (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 plaguicidas 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

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 1998-2013.

¹⁸ El valor de las importaciones evitadas en cada año se ha actualizado para el año 2013. Para ello se han utilizado los coeficientes proporcionados por el INE, y para el año 2013 se ha tomado la tasa de inflación prevista para el año 2013 por el BBVA (IPC 1,5%).

¹⁹ El Anexo 2 recoge los datos que se obtendrían en el estudio tomando datos publicados definitivos, lo cual implica que son datos hasta el año 2012.

²⁰ Determinados eventos del maíz Bt además de proteger contra la plaga del taladro, ofrecen también protección contra la plaga de *Diabrotica spp.*

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.

Estas reducciones en el uso de plaguicidas se traducen en un control selectivo de las plagas, con los consiguientes beneficios que ello conlleva para los organismos no objetivo (*non-target organisms*) que se encuentran en los campos de maíz (Wesseler et al., 2011).

4.2. Uso de agua de riego

Teniendo en cuenta el rendimiento agronómico superior del maíz Bt es posible estimar la demanda de agua evitada por el uso 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 5), 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 5. 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 (1998-2013), podemos obtener los m³ necesarios para producir cada tonelada de maíz convencional en dichas zonas²¹. 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 m³ de agua de riego ahorrados en dichas zonas, tal y como se refleja en la Tabla 6. 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 superficie de cultivo del maíz convencional, sino una demanda de agua agregada adicional de 490.126 miles de m³, o de cerca de 31 mil m³ anuales medios en el periodo 1998-2012. 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.

²¹ El uso de agua de riego en m³ por tonelada producida se obtiene utilizando la siguiente expresión: $\frac{\text{uso del agua (m}^3\text{/ha)}}{\text{rendimiento maíz convencional (ton/ha)}}$. Se han estimado así las necesidades de agua en m³/ton para cada año del análisis (1998-2013). 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.

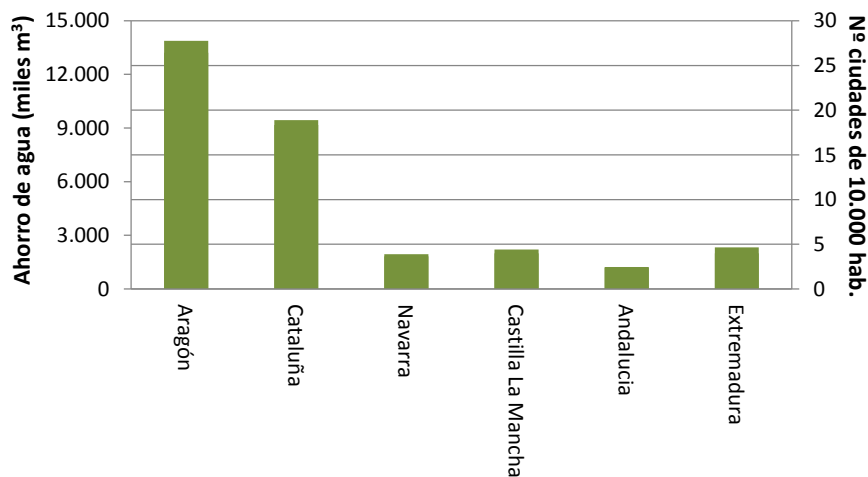
Tabla 6. Cantidad de agua necesaria para suplir la pérdida de producción por CC.AA.

Comunidad Autónoma	Requerimientos agregados de agua de riego (miles de m ³)	Requerimientos anuales de agua de riego (miles de m ³)
Aragón	222.108	13.881
Cataluña	146.648	9.165
Navarra	29.132	1.821
Castilla- La Mancha	35.378	2.211
Andalucía	19.695	1.231
Extremadura	37.165	2.323
TOTAL	490.126	30.633

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. analizadas²², puede observarse que dicho ahorro podría abastecer un total de 59 ciudades de 10.000 habitantes (Instituto Nacional de Estadística- INE, 2012). En concreto, el mayor ahorro de agua se generaría en Aragón y Cataluña, equivaliendo a un abastecimiento urbano anual de casi 453.000 habitantes (ver Figura 10).

Figura 10. Agua de riego ahorrada por año y número de ciudades que podrían abastecerse



Fuente: Elaboración propia

4.3. 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

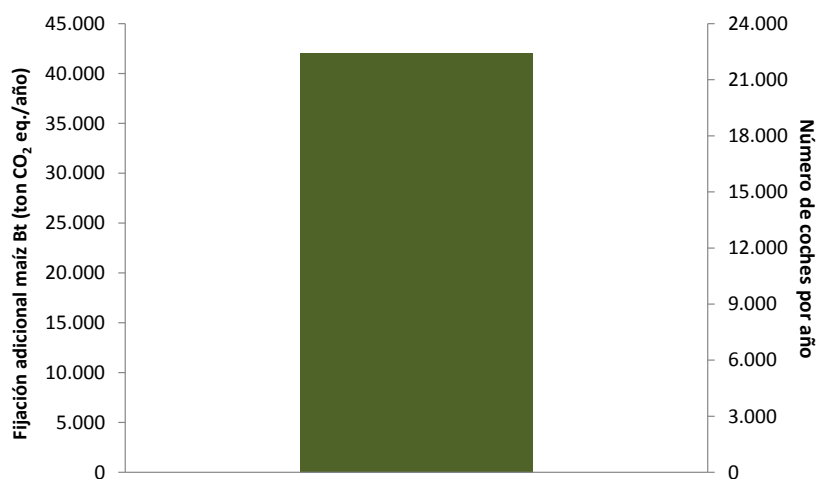
²² Los consumos de agua de los hogares en litros/habitante/día asciende a 144 en Aragón, 133 en Cataluña, 160 en Extremadura, 143 en Andalucía, 152 en Castilla La Mancha y 128 en Navarra (INE, 2011).

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 m³/ton, 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 (853.201 toneladas), a nivel global puede estimarse que se ha evitado una huella hídrica de 1,041 millones de m³ durante los 16 años del cultivo.

4.4. 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 CO₂. En el caso del maíz de regadío se ha estimado una fijación neta de 777 kg CO₂ equivalentes/ton de maíz producida (Altuna et al., 2012). Teniendo en cuenta esta fijación neta de CO₂ y la productividad adicional que ha supuesto el maíz Bt con respecto al convencional (853.201 toneladas), puede estimarse la fijación adicional de CO₂ que ha supuesto el cultivo del maíz Bt en España durante el período 1998-2013. Así, la presencia del maíz Bt en España ha generado una fijación neta de carbono adicional de 662.937 ton CO₂ eq., lo cual supone 41.434 ton CO₂ 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 358.297 turismos durante los 16 años de su cultivo, o bien en términos anuales, se han contrarrestado las emisiones de CO₂ realizadas por 22.394 coches²³ (ver Figura 11).

Figura 11. Fijación adicional de CO₂ del maíz Bt y número de coches anuales equivalentes



Fuente: Elaboración propia

²³ Para el cálculo del número de las emisiones medias de CO₂ de un turismo en España se han tomado los datos publicados por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2013) en relación a las emisiones de CO₂ equivalentes en coches diesel y gasolina por kilómetro recorrido, datos de la Dirección General de Tráfico (DGT, 2011) 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.

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 16 años ha supuesto numerosas ventajas en el plano agronómico, económico y de gestión 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 la variedad 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 severidad de los daños causados por 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 gestión* 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 y por tanto la menor exposición de los agricultores a productos tóxicos.

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 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 16 años de cultivo asciende a cerca de 156 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 plaguicidas, el menor uso del agua de riego por tonelada de maíz producida y la mayor fijación de carbono. Así, el empleo de una forma de protección del maíz selectiva 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 más de 490 millones de m³ durante los 16 años del cultivo, lo cual equivaldría al abastecimiento de alrededor de 595.000 personas por año. 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 más de 1 millón de m³. Por último, y teniendo en cuenta la capacidad del maíz como sumidero natural de CO₂, el maíz Bt ha supuesto una fijación neta de carbono adicional de 662.937 ton CO₂ eq. permitiendo compensar las emisiones anuales de 22.394 coches en España.

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. 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.
- BBVA (2013). Previsiones del BBVA en relación a la economía española. Disponible en: <http://www.bbvaresearch.com/KETD//ketd/esp/previsiones.jsp?zona=esp>
- 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. (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- Direção Regional de Agricultura e Pescas (2013). Evolução da área de milho genéticamente modificado. Direção 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 (campana, 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 (2013). Consumo de Carburante y Emisiones de CO2 en Coches Nuevos. Disponible en: <http://www.idae.es/coches/>
 - INE- Instituto Nacional de Estadística (2012). Encuesta sobre el Suministro y Saneamiento del Agua 2010. Instituto Nacional de Estadística, Madrid. Disponible en: <http://www.ine.es/jaxi/menu.do?type=pcaxis&path=/t26/p067/p01/a2010&file=pcaxis>
 - 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. (2005-2012). Global Status of Commercialized Biotech/GM crops: 2004- 2011. 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 Formació 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 (1999-2012). Anuarios de Estadística 1999-2012. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013a). Boletín Mensual de Estadística. Agosto 2013. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid.
- MAGRAMA- Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente (2013b). 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 (2013c). 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 (2013d). Plan Hidrológico 2010-2015. Confederación Hidrográfica del Guadiana. Disponible en: <http://planhidrologico2009.chguadiana.es/?url=61>.
- 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 (1998-2012). Datacomex - Estadísticas del Comercio exterior. Disponible en: <http://datacomex.comercio.es/>
- 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 Formació i assessorament al sector agrari*, 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.
- Wang, S., Just, D.R. y Pinstrip-Andersen, P. (2008). Bt-cotton and secondary pests. *International Journal of Biotechnology*, 10: 113-121.
- Wesseler, J., Scatista, 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 A1-1. Diferencias asumidas de rendimientos entre el maíz Bt y el convencional²⁴

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

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 2013. 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 887.324 toneladas.

Teniendo en cuenta el precio medio de las importaciones de maíz realizadas por España durante los años 1998 y 2013 (Figura 9) es posible calcular el valor de dichas importaciones evitadas.

Tabla A1-2. Valor actualizado de las importaciones evitadas por CC.AA.

Comunidad Autónoma	Valor importaciones evitadas (euros del año 2013)
Aragón	81.840.686
Cataluña	35.568.439
Navarra	8.462.162
Castilla- La Mancha	12.372.482
Andalucía	8.488.116
Extremadura	14.905.562
TOTAL	161.637.447

Fuente: Elaboración propia.

²⁴ 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 2013 ascendería a más de 161 millones de euros. Esta cifra es superior a la recogida en el texto principal del trabajo (155.853.651 euros), lo cual evidencia el enfoque conservador seguido en la estimación del valor de las importaciones evitadas de maíz.

ANEXO 2

Teniendo en cuenta únicamente los datos definitivos publicados por los organismos públicos consultados en la fecha actual (datos de superficie de maíz cultivada en España, por el MAGRAMA, y datos de importaciones y exportaciones de maíz publicados por el MINECO), el análisis incluiría sólo hasta el año 2012. Sobre la base de estos datos, los resultados obtenidos para España muestran unas importaciones evitadas de 726.637 toneladas, y un valor actualizado de éstas que ascendería a más de 126 millones de euros:

Tabla A2-1. Valor actualizado de las importaciones evitadas por CC.AA. hasta el año 2012

Comunidad Autónoma	Valor importaciones evitadas (euros del año 2013)
Aragón	59.659.899
Cataluña	31.852.277
Navarra	6.683.773
Castilla- La Mancha	10.403.855
Andalucía	5.804.755
Extremadura	11.685.287
TOTAL	126.089.845

Fuente: Elaboración propia

Esta cifra es inferior a la recogida en el texto principal del trabajo (155.853.651 euros) debido a la exclusión del año 2013 del análisis.

Teniendo en cuenta los datos de importaciones evitadas hasta 2012, los indicadores ambientales recogidos en el análisis (agua de riego ahorrada, huella hídrica y fijación de carbono) presentarían los siguientes valores:

Tabla A2-2. Valores de los indicadores ambientales hasta el año 2012

Indicador ambiental	Valor alcanzado	Equivalencia
Agua de riego ahorrada	Agregado (15 años)	423.859 miles m ³ 549.584 habitantes
	Anual	28.257 miles m ³ 55 ciudades de 10.000 habitantes
Huella hídrica	Agregado (15 años)	0,886 millones m ³
Fijación de carbono	Agregado (15 años)	564.597 ton CO ₂ 305.147 coches
	Anual	37.640 ton CO ₂ 20.343 coches