
El impacto del uso del maíz MG resistente a insectos en Europa desde 1998

Graham Brookes
Economista agrícola,
PG Economics Ltd.,
Dorchester, UK
E-mail: Graham.Brookes@btinternet.com

Resumen: Los maíces modificados genéticamente (MG) resistentes a insectos (Bt) llevan cultivándose en la Unión Europea (UE) desde 1998, y en el 2006 se sembraron en siete países miembros. Este artículo examina su impacto económico en la producción y en la renta agrícola así como su repercusión en el medio ambiente frente al uso de insecticidas (cuando existan datos). El análisis muestra que se han logrado importantes beneficios en la producción así como económicos a nivel de explotación que suponen una mejora de la rentabilidad de entre el 12 y el 21%. Allí donde los agricultores usaban antes insecticidas para controlar las plagas, esta tecnología ha disminuido los tratamientos insecticidas atenuando así el impacto medioambiental que ello conlleva. El maíz Bt también ha originado importantes mejoras en la calidad del grano gracias a disminuir en gran medida los niveles de micotoxinas encontrados en el grano.

Palabras clave: rendimiento; coste; renta; Coeficiente de Impacto Ambiental (CIA); micotoxinas; cultivos MG.

La referencia de este artículo es: Brookes, G. (2008) 'The impact of using GM insect resistant maize in Europe since 1998', *Int. J. Biotechnology*, Vol. 10, Nos. 2/3, pp.148–166.

Notas biográficas: Graham Brookes es Economista Agrícola, y director de la PG Economics Ltd., una consultoría con base en el Reino Unido, especializada en la asesoría sobre el impacto de las nuevas tecnologías en la agricultura. Ha realizado una serie de estudios de investigación sobre el impacto económico y medioambiental de la tecnología MG en la agricultura durante los últimos 10 años, entre los que se incluyen estudios sobre el maíz MG resistente a insectos en España y sobre la soja tolerante a herbicidas en Rumania. Además es coautor de una publicación anual que cuantifica el impacto económico y medioambiental a escala mundial de los cultivos MG.

1 Introducción

Este artículo examina datos publicados o propiedad de empresas acerca del impacto asociado al uso del maíz modificado genéticamente (MG) resistente a insectos (Bt) en la Unión Europea desde que se autorizó por primera vez la siembra de este carácter en 1998. Su propósito es identificar la continuidad, las diferencias y las tendencias en el impacto de esta tecnología a partir de una serie de trabajos de investigación realizados desde 1998, para así proporcionar a los científicos una fuente única de análisis del impacto. Se presenta un análisis de cada país seguido de su discusión.

Hasta la fecha, en Europa sólo se han sembrado Bt 176 y MON 810 (resistentes a las plagas de lepidópteros: el piral del maíz *Ostrinia nubilalis* y el barrenador del maíz *Sesamia nonagroides*). Actualmente, para el cultivo, sólo se dispone de variedades del evento MON 810, habiéndose registrado: 41 variedades en España, 6 en Francia, 5 en Alemania y 36 en el Catálogo común de variedades de especies de plantas agrícolas de la UE (situación en diciembre del 2006).

El maíz Bt se sembró por primera vez en 1998, y la superficie cultivada en España en el 2006 con maíz Bt fue de unas 58.000 ha. También se sembraron pequeñas cantidades de maíz Bt en Francia en 1998, en Portugal en 1999 y en Alemania todos los años desde el 2000. En el 2005 se apreció una reanudación de la actividad porque Francia, Portugal y la República Checa también sembraron maíz BT, si bien es cierto que en zonas pequeñas. En total, la superficie sembrada en la UE con maíz Bt en el 2006 fue algo menos de 65.000 ha, lo que equivale aproximadamente al 0,6% de toda la superficie sembrada con maíz en la UE de los 25 (incluida la superficie de maíz forrajero). La superficie mundial de MG en el 2006 fue de 102 millones de ha.

2 Resultados

Se presentan a continuación, desglosados por países.

2.1 España

El piral del maíz es la principal plaga del maíz en España, aunque en muchas zonas el barrenador del maíz también tiene una repercusión económica. El cultivo del maíz en España puede sufrir el ataque de dos generaciones del piral (en el norte pueden darse incluso hasta tres generaciones) aunque la incidencia y el impacto de la infestación varían significativamente por regiones y de un año a otro, estando influidos por las condiciones climáticas locales, el uso de insecticidas y el momento de la siembra (*e.g.* los cultivos de siembra temprana suelen resistir los ataques mejor que los de siembra tardía). Brookes (2003) clasificó las regiones productoras de maíz de España en tres grupos en función del nivel histórico anual de presión de las plagas (regiones con una presión de la plaga alta, media y baja) y haciendo uso de esta clasificación, es evidente que el mayor cultivo de maíz Bt en el 2006 se dio en regiones que habitualmente sufren una presión de media a alta¹, como Aragón y Cataluña. Tradicionalmente, los productores españoles de maíz no han dispuesto de una política/método activos para controlar el piral de maíz o han usado insecticidas (Brookes, 2003). Los agricultores de las zonas de infestación alta (*e.g.* Huesca) son los que más insecticidas aplicaban², tratando de una a dos veces por campaña. Sin embargo, los agricultores españoles no solían usar demasiado los insecticidas porque notaban que su eficacia era limitada: con los tratamientos, podían controlar las larvas del piral sobre la superficie de las plantas pero eran menos eficaces contra las larvas que ya habían taladrado los tallos. Además, la puesta puede tener lugar a lo largo de tres meses y la mayoría de los insecticidas sólo son eficaces durante 7-10 días. En resumen, la presión del piral es variable, de forma que algunos años los daños son tan escasos que algunos agricultores ni siquiera aprecian el daño en sus cosechas. Por último, algunos usuarios del maíz Bt afirmaron que sólo tras haber usado el maíz Bt pudieron ser plenamente conscientes del impacto adverso que causa el piral ECB (Brookes, 2003).

2.1.1 Impacto en el rendimiento de la semilla de maíz MG resistente a insectos (Bt)

Como el daño del piral varía dependiendo de la localización, del año, de los factores climáticos, del momento de la siembra, de si se usan o no insecticidas y del momento de la aplicación, el impacto positivo que tiene la siembra del maíz Bt también varía. En la Tabla 1 se resumen los datos obtenidos en España entre 1998 y el 2005.

Tabla 1 Impacto del maíz Bt en la producción en España (1998–2005)

| Regiones | Rendimiento maíz base toneladas/ha | Rendimiento del Bt comparado con el maíz convencional | | Comentarios | Referencia |
|--|---|--|--|---|--|
| | | toneladas/ha | % | | |
| Huesca (Sariñena) | 10 | +1 | +10 (+2– + 20) | Región de infestación alta; antes se usaban insecticidas | Brookes (2003) |
| | | +1.5 | +15 (+10+40) | No se usaban antes insecticidas | Brookes (2003) |
| Varias regiones | 12.51 | 0.75 | +6 | Parcelas de ensayos en varias regiones en 1997 (antes se usaban insecticidas en cultivos convencionales) | Alcalde (1999) |
| Huesca (Barbastro) | 15 | + 0.15 | +1 | Un agricultor, infestación media baja; antes no se usaban insecticidas | Brookes (2003) |
| 15 localizaciones (Cataluña, Aragón y Navarra) | 13 + 1.3 +10 | | | Ensayos de campo; Cultivo convencional que incluyó parcelas tratadas y no tratadas (con insecticidas) | Monsanto Company (2003–2007) |
| Aragón, Cataluña y Castilla La Mancha | No citado en la literatura original | | Percibido: +1– +14; Medido +5 | Sondeo entre 400 explotaciones, incl. 218 Bt usuarios de maíz; puede incluir algunos cultivos convencionales tratados con insecticidas | Gómez- Barbero y Rodríguez- Cerejo (2006a,b) |
| Intervalo | 10–13 | 0.2–1 | 1–40 | – | – |

2.1.2 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

Hay una serie de estudios/análisis sobre el impacto del uso del maíz Bt en España a nivel de explotación y nacional. Se resumen a continuación.³

2.1.2.1 Brookes (2003) Dentro de la región de Huesca, en Sariñena, (localidad con un grado de infestación alto): el margen bruto aumenta entre +67 y +330€/ha (*i.e.* +6– +35%), con una media de 147€/ha (+13%). El coste por usar el maíz Bt (canon tecnológico) se recuperó con creces gracias al ahorro en insecticidas (allí donde antes se usaban insecticidas). No obstante, el beneficio principal provino de las ganancias por el rendimiento, que compensó sobradamente el coste adicional de la tecnología (tanto para los agricultores que anteriormente usaban insecticidas como para los que no lo hacían).

En una localidad de infestación baja (uno de los agricultores de Barbastro, Huesca), el resultado neto del uso del maíz Bt no experimentó pérdidas ni beneficios por cambios en costes e ingresos (*i.e.* sin cambio neto en cuatro años).⁴

2.1.2.2 Ensayos de Monsanto Company, 2003–2005 En la Tabla 2 se presenta un resumen del impacto estimado en los márgenes de explotación a partir de los datos de ensayos de Monsanto Company (el cultivo convencional se trató con insecticidas como clorpirifos o piretroides). Se estima que el beneficio medio de la renta de explotación es +141€/ha, lo que supone un aumento del 12% en la rentabilidad del margen bruto comparado con el cultivo del maíz convencional.

Tabla 2 Impacto en el margen bruto por el uso del maíz Bt, basado en ensayos de campo 2003–2005 (€/ha)

| | <i>Maíz convencional</i> | <i>Maíz Bt</i> | <i>Maíz Bt frente a maíz convencional</i> |
|---------------------------|--------------------------|----------------|---|
| <i>Ingresos</i> | | | |
| Precio (€/tonelada) | 127 | 127 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 10.61 | 11.72 | +1.11 |
| Ingresos ventas | 1347 | 1488 | +141 |
| <i>Costes variables</i> | | | |
| Semillas | 166 | 201 | +35 |
| Insecticida | 35 | 0 | -35 |
| Total | 201 | 201 | 0 |
| Margen bruto | 1146 | 1287 | +141 (+12%) |

Nota: 1 el precio de base, el rendimiento convencional medio y el coste de la semilla son la media de los tres años (Brookes, 2002–2004): European arable crop profit margins, 2–4 editions).

2 coste en insecticidas y recargo en la semilla (35€/ha) – comunicación personal de Monsanto Company.

Fuente: Datos de ensayos de Monsanto Company (2003–2007).

2.1.2.3 Gómez-Barbero y Rodríguez-Cerezo (2006 a,b) Este análisis, basado en un sondeo que cubre el periodo 2002–2004, asocia al uso del maíz Bt un beneficio medio en el margen bruto comparado con el maíz convencional de 85€/ha por periodo de cultivo. El impacto en el margen bruto osciló entre +7€/ha en Castilla La Mancha y +125€/ha en Aragón.

2.1.2.4 Brookes y Barfoot (2007) Los principales impactos en la renta a nivel de explotación y nacional identificados entre 1998 y 2005, fueron un ahorro neto medio anual en los costes de producción (por el menor uso de insecticida) de 34–42€/ha y un aumento neto del margen bruto de +86 y +108€/ha. A nivel nacional, ese aumento del rendimiento y ese ahorro en costes ha hecho que la renta de las explotaciones aumentase en 4,4 millones de € en el 2005. Desde 1998, el aumento acumulado de la renta de explotación (en términos nominales) ha sido de 25,4 millones de €.

2.1.2.5 Demont y Tollens (2003, 2005) Este trabajo calcula que, durante el periodo de cuatro años de 1998–2001, el beneficio total conseguido entre los agricultores que usaban esta tecnología y la cadena de suministro anterior a los agricultores (sector de suministro de semillas y suministradores de tecnología) fue de 11,2 millones de €, divididos como sigue: 8,4 millones de € (75%) para los agricultores y 2,8 millones de € (25%) para la industria de suministro. Este análisis se actualizó en el 2004 para cubrir el periodo de seis años entre 1998 y 2003 y se estimó que la ganancia total de bienestar fue de 15,5 millones de euros, de los que para los agricultores fue un beneficio de 10,4 millones € (66% del total) y para a la industria de suministro anterior a los agricultores fueron 5,1 millones € (33% del total).

2.1.3 Impacto en el medio ambiente (uso de insecticidas)

Basándose en los datos de uso de los insecticidas desde 1999 hasta el 2001 (usados casi exclusivamente para controlar el ataque del piral del maíz en regiones con altos niveles de infestación contra el que se usó clorpirifos y piretroides), Brookes (2003) estimó que se lograría una disminución neta de la superficie tratada de 59.000–98.000 ha y se reduciría el uso del ingrediente activo en 35.000–56.000 kg. Respecto al uso total de insecticida en maíz en España (incluidos los insecticidas del suelo), esto supone reducir la superficie total pulverizada en un 27–45% y disminuir el uso de ingrediente activo en un 26–35%.

En otro análisis de Brookes y Barfoot (2007) se observó que la utilización del maíz Bt también ha contribuido a la disminución neta del Coeficiente de Impacto Ambiental (CIA/ha carga).^{5,6} Desde 1998 se ha producido un ahorro acumulado (respecto al uso si todo el cultivo fuese no-MG) de 239.000 kg de ia de insecticida (una disminución del 34%) y la carga del EIQ/ha en campo cayó un 30% desde 1999 (–10.4 millones de unidades). En el 2005, la carga del EIQ/ha en campo fue aproximadamente un 43% inferior que el de su equivalente convencional.

2.1.4 Micotoxinas

En una serie de estudios se ha examinado la posible presencia de hongos que podrían producir micotoxinas, habiéndose comparado el Bt frente al maíz convencional en España. Entre estos estudios se encuentra Bakan et al. (2002) en el que se examinó el grado de infección por *Fusarium* en el Bt frente al maíz no-Bt en parcelas de ensayo de cinco localizaciones (tres en Francia y dos en España). Los resultados indican que el maíz Bt tiene 10 veces menos Fumonisina (FUM) que las variedades de maíz no-Bt. Además, Serra et al. (2006)⁷ encontraron que el porcentaje de plantas de maíz que se ven atacadas por hongos fue significativamente inferior en el maíz Bt (1.2%) que en las variedades convencionales de maíz (2.5%). Así mismo, sólo se observaron FUMs en el 17% de las plantas Bt analizadas mientras que en las plantas de maíz convencional se observó en el 100%.

2.1.5 Impactos intangibles

Brookes (2003) constató que el uso del maíz Bt también conlleva beneficios de índole no económica, tales como:

- la posibilidad de manejar mejor el riesgo de producción: puede verse al maíz Bt como una garantía contra el piral del maíz, que hace innecesario el tener que ocuparse de daños importantes
- disfrutar de más comodidad: los agricultores emplean menos tiempo en caminar por el cultivo o en aplicar insecticidas
- lograr un ligero ahorro neto en el uso energético: sobre todo por el menor uso de pulverizaciones aéreas
- la menor exposición de los agricultores y los trabajadores de la explotación a los insecticidas
- facilitar la cosechado (*e.g.* menos problemas por cultivos caídos: los vientos del final del verano tumban fácilmente a los cultivos dañados por el piral del maíz).

2.2 Francia

Las primeras siembras comerciales del maíz Bt tuvieron lugar en 1998 (entre 1800 y 3000 ha sembradas), y desde entonces no volvió a cultivarse comercialmente hasta el 2005. En el 2006 se sembraron 5200 ha (Association Générale des Producteurs de Maïs (AGPM)/ Arvalis, 2006).

En Francia, entre 1 y 2 millones de ha de maíz se ven afectadas anualmente por la piral y el barrenador del maíz y de ellas entre 0,3–0,75 millones de ha sufren importantes pérdidas económicas. Estas zonas tienden a concentrarse en el sudoeste, e incluyen partes de las principales regiones maiceras del Midi Pyrénées, Aquitania y Poitou-Charentes en las que se producen 1–2 generaciones del piral y 2–3 generaciones del barrenador del maíz. El piral del maíz (una generación) también causa problemas a los cultivadores de maíz del norte, donde se encuentra la otra región principal productora, la Alsacia. Como en todas las regiones con problemas de piral/barrenador, el impacto depende de la localización, del año, de factores climáticos, del momento de la siembra y del uso de insecticidas, según el grado de infestación. Cuando deciden tratar frente al piral o el taladro, los agricultores franceses usan insecticidas o métodos de control biológicos que consisten en la liberación de la avispa parasitaria *Trichogramma*. Entre el 2003 y el 2005, la superficie tratada con insecticidas o con *Trichogramma* osciló entre 0,2 y 0,7 millones ha (*fuentes*: datos de investigación de mercado de Kleffmann sin publicar). Esto equivale a entre el 6 y el 23% de todo el maíz de Francia (incluidas las siembras de maíz forrajero).

2.2.1 Impacto en el rendimiento de la semilla de maíz Bt

A continuación se resumen los datos obtenidos en Francia acerca del impacto en el rendimiento por el uso del maíz Bt.

La eficacia de esta tecnología frente al piral oscila entre el 95 y el 99%⁸ (Grenouillet, 2006; Labatte et al., 1996).

- Poeydemenge (2006a,b) identificó una mejora media en el rendimiento en el 2005 de 0,7 toneladas/ha sobre el rendimiento base de 10 toneladas/ha (+7%) de los cultivos tratados con insecticidas.
- En los ensayos AGPM/Arvalis se detectó un aumento del rendimiento de 0,55 toneladas/ha (+6%) en el 2006 en las zonas con un grado de infestación de la plaga bajo y de 1,15 toneladas/ha (+13%) en las zonas que sufrieron un grado de infestación de medio a alto. El aumento medio del rendimiento fue 0,92 toneladas/ha (+11%).
- Grenouillet (2006) manifiesta un aumento medio del rendimiento de entre +5–+17%. En las zonas con un grado de infestación alto, el aumento osciló entre +5–+25% en seis de los siete años analizados.
- En los ensayos de campo de Monsanto Company del 2006 se obtuvo un aumento medio del rendimiento del 12% (sobre un rendimiento base del maíz convencional de 11,13 toneladas/ha). Cuando se analizaron en función de la presión de la plaga, la mejora en el rendimiento conseguida por el uso de la semilla de maíz Bt fue +2, +10 y +15%, en las zonas de infestación bajas, medias y altas respectivamente.

2.2.2 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

Los análisis se basan en el hallazgo de AGPM/Arvalis (2006) de que esta tecnología proporcionó un aumento medio del margen bruto de +€98/ha (+18%) en el 2005 y de +€120/ha (+35%) en el 2006 (Tabla 3).⁹

A partir de los resultados de las explotaciones que cultivan maíz Bt de forma comercial, se ha observado que el impacto en la renta de la explotación es igual de positivo (*Fuente*: Monsanto, 2003–2007). La tecnología proporcionó un aumento medio del margen bruto de +114€/ha (+16%) frente a un cultivo convencional que no hubiese sido tratado previamente con insecticida.

2.2.3 Impacto en el medio ambiente (uso de insecticidas)

Basándose en los datos de investigación de mercado de Kleffmann sin publicar sobre el cultivo del maíz en Francia que se trató con insecticidas dirigidos al piral del maíz y a la *Sesamia* en el 2006, si esa zona utilizase maíz Bt y dejase de tratarse, se ahorraría tratar con insecticidas 251.000 ha.

Tabla 3 Impacto del uso del maíz Bt en la rentabilidad agraria en Francia respecto a un cultivo convencional tratado con insecticidas, 2005–2006 (€/ha)

| | 2005 | | | 2006 | | |
|---------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|
| | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional |
| <i>Ingresos</i> | | | | | | |
| Precio (€/tonelada) | 120 | 120 | 0 | 120 | 120 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 10 | 11 | +1 | 9 | 10 | +1 |
| Ingresos ventas | 1248 | 1336 | +88 | 1032 | 1142 | +110 |
| <i>Costes variables</i> | | | | | | |
| Semillas | 150 | 190 | +40 | 150 | 190 | +40 |
| Fertilizantes | 139 | 139 | 0 | 139 | 139 | 0 |
| Protección de cultivos | 100 | 50 | -50 | 100 | 50 | -50 |
| Riego | 300 | 300 | 0 | 300 | 300 | 0 |
| Total | 689 | 679 | -10 | 689 | 679 | -10 |
| Margen bruto | 559 | 657 | +98(+18%) | 343 | 463 | +120(+35%) |

Nota: Análisis basado en Poeydemenge (2006a,b) y AGPM/Arvalis (2006) aplicado a costes medios variables del maíz en Brookes (2007a) *European arable crop profit margins 2006–2007* y precios medios de cosecha a nivel de explotación para la media de 2004–2006; Conv: convencional. Protección de cultivos = gasto en insecticidas o en el control biológico de insectos y herbicidas para el control de malas hierbas.

2.2.4 Micotoxinas

En Poeydemenge (2006a,b) se exponen los resultados de los ensayos del 2005 en los que se compara el nivel de FUM en el maíz convencional frente al maíz Bt. Se produjo una disminución del 90%, o incluso mayor, de los dos tipos de FUM (B1 y B2) en los cultivos Bt respecto a las alternativas convencionales (los niveles base en los cultivos convencionales eran de unas 3900 partes por billón (ppb) en el caso de FUM B1 y de unas 1200 ppb en el caso de FUM B2). Los resultados de los ensayos del 2006 de AGPM/Arvalis (2006) son similares. El nivel de los tipos B1 y B2 de FUM disminuyó un 33% en el maíz Bt respecto a la alternativa convencional allí donde la infestación de la plaga fue baja (los niveles base convencionales de esos FUMs fueron 1000 ppb), y allí donde la infestación fue media o alta, los niveles de FUM B1 y B2 disminuyeron un 58% (los niveles base de los cultivos convencionales fueron 3100 ppb). Por último, Grenouillet (2006) encontró una disminución importante de los niveles de FUM B1, Deoxinivalenol (DON) y Zearalenona en el maíz Bt Yieldgard frente al maíz convencional en los ensayos de Monsanto Company realizados entre 1998 y el 2003. Cuando se les compara con los límites máximos de FUM B1 recientemente establecidos por la UE de 2 ppm (Regulación (CE) Nº. 856/2005), 17 de las muestras convencionales de los ensayos no habrían resistido este umbral y en 15 de los casos el equivalente de Yieldgard habría sido inferior (*i.e.* pasó) al umbral.

2.2.5 Impactos intangibles

Los beneficios intangibles observados en Francia pueden ser los mismos que los ya logrados en otros países que ya los usan como España, y consistirían en una mayor flexibilidad del manejo y un mejor manejo del riesgo de producción.

2.3 Alemania

Entre 1998 y el 2004, únicamente existían algunas siembras pre-comerciales (hasta 5 toneladas de semilla por variedad) puesto que en el catálogo de variedades alemán no había ninguna variedad de maíz Bt. En el 2005, se aprobó una variedad en Alemania, y las siembras aumentaron desde 250 ha a 950 ha en el 2006, al aprobarse cinco variedades.

Se calcula que la superficie de maíz afectada por el piral del maíz en Alemania se encuentra entre 0,3 y 0,5 millones de ha (Deutscher Bundestag, 2006; Degenhardt et al., 2003). Los mayores problemas con el piral se localizan en Bavaria y Baden-Wurtemberg.

2.3.1 Tratamiento convencional

Los productores de maíz alemanes nunca han seguido una política activa para el control del piral mediante insecticidas o con métodos de control (*Trichogramma*). Los datos sin publicar del sondeo de Kleffmann realizado entre agricultores registraron que casi las dos terceras partes de los agricultores que sufrieron en el 2006 el ataque del piral no hicieron nada para solucionar el problema. Menos del 20% de los agricultores usaron insecticidas o *Trichogramma*, el resto declararon que usaron como principal método de control la rotación de cultivos o el laboreo.

2.3.2 Impacto en el rendimiento de la semilla del maíz Bt

Los resultados de Degenhardt et al. (2003) muestran que el rendimiento de los cultivos de maíz Bt aumentó respecto al del maíz sin tratar entre un 14 y 15% en el valle del Rhin y la región de Oderbruch, respectivamente. El aumento del rendimiento respecto al de las parcelas tratadas con insecticidas y con *Trichogramma* osciló entre el +3–+4% y 8–11%, respectivamente en esas dos regiones.

2.3.3 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

El impacto en los costes de producción y la rentabilidad del maíz Bt frente al maíz convencional se resumen en la Tabla 4. En términos de margen bruto medio del maíz convencional en el 2006/2007, con el uso del maíz Bt (respecto a un cultivo sin tratar) se consigue un aumento del +12–+14%.¹⁰

2.3.4 Micotoxinas

Magg et al. (2003) examinaron las concentraciones de Moniliformina (MON) en híbridos de maíz Bt de maduración temprana, sus homólogos isogénicos, variedades comerciales e híbridos experimentales así como cualquier posible relación entre la resistencia al piral del maíz y la concentración de MON. Esta investigación tuvo lugar en cinco localizaciones de Alemania. Se observó que las concentraciones de MON fueron bastante menores (y mayor la producción de grano) en los híbridos de maíz Bt que en sus homólogos isogénicos, en las variedades comerciales y en los híbridos experimentales. Sin embargo, la relación entre la concentración de MON y otras micotoxinas de *Fusarium* no fue significativa. El trabajo concluyó que el uso de híbridos de maíz Bt reduce la contaminación de los granos de maíz con MON en Europa Central.

Tabla 4 Impacto medio en la rentabilidad agraria por el uso del maíz Bt en 2006–2007 en Alemania (€/ha)

| Origen/base | Maíz Bt frente a maíz convencional si tratar | Bt frente a maíz tratado con insecticidas | Bt frente a maíz convencional tratado con <i>Trichogramma</i> |
|---------------------------------------|--|---|---|
| Degenhardt et al. (2003) ^a | +83–+93 | +38–+66 | +136–+150 |
| Gianessi et al. (2004) | – | +61 | +154 |

^aValores para el el valle del Rhin y la región de Oderbruch.

Nota: Conv: Convencional.

Papst et al. (2005) investigaron la relación entre la concentración de micotoxinas y la resistencia al piral del maíz. El estudio comparó híbridos Bt de maduración temprana con sus homólogos isogénicos y variedades comerciales. Los experimentos de campo se llevaron a cabo en tres localizaciones de la principal zona maicera de Alemania (Seelow en el este y Freising y Heilbronn en el sur). Se observó que los híbridos de maíz Bt (protegidos contra el ataque del piral) presentan concentraciones de DON y FUM significativamente menores que sus homólogos isogénicos y los híbridos comerciales. El estudio concluyó que el uso de híbridos de maíz Bt puede ser una solución a corto plazo para minimizar los niveles de toxinas en el grano de maíz.

2.3.5 Impactos intangibles

Podrían ser los mismos impactos que en otros países: una mayor flexibilidad del manejo y un mejor manejo del riesgo de producción.

2.4 República Checa

Las primeras siembras comerciales tuvieron lugar en el 2005, y en el 2006 se sembraron 1290 ha con maíz Bt. La principal plaga del maíz en la República Checa es el piral, localizándose las regiones de infestación alta en el sur del país y las de infestación media en el norte y el centro. Lo habitual es que haya una, y en ocasiones dos, generaciones de piral. El Servicio Fitosanitario Estatal (SRS), Praga (2006) estima que la infestaciones altas de piral se sitúan en una superficie de aproximadamente 80.000–90.000 ha, especialmente en Moravia, aunque la zona que se ve sometida a daños de importancia económica y en la que se trata con insecticidas convencionales regularmente o se emplea *trichogramma* es de unas 40.000 ha (Daems et al., 2006; estimaciones de Monsanto Company (2003–2007)).

2.4.1 Impacto en el rendimiento por el uso de la semilla del maíz Bt

Los ensayos de Monsanto Company realizados en el 2005 mostraron un aumento del rendimiento del +9–+10% en los 11 ensayos realizados en Bohemia/Moravia. El rendimiento base fue 11,54 toneladas/ha. Daems et al. (2006), en su análisis sobre impacto del piral del maíz en el rendimiento fijó el intervalo del impacto positivo entre +5 y +20% y Abel (2006) indicó que un productor de maíz de Berne obtuvo un aumento del rendimiento del +10%.

2.4.2 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

Abel (2006) se refirió a un aumento en la rentabilidad del margen neto del 10% (+44€/ha) basándose en un coste de insecticida de 18 a 36€/ha, un coste de aplicación de 8,4–16,8€/ha y un recargo en la semilla de maíz Bt de 35€/ha. En la tabla 5 se aplica este análisis de impacto al margen bruto medio ajustado del maíz de este país. Esto sugiere que el maíz Bt proporcionará, a un agricultor medio de maíz con problemas de infestación de piral, un ingreso adicional al margen bruto de 65€/ha (+15%).

Tabla 5 Impacto estimado por el uso del maíz Bt en la República Checa (€/ha)

| | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional |
|-------------------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|
| <i>Ingresos</i> | | | |
| Precio (€/tonelada) | 103 | 103 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 7.2 | 7.92 | +10% |
| Ingresos ventas | 742 | 816 | +74 |
| <i>Costes variables</i> | | | |
| Semillas | 52 | 87 | +35 |
| Fertilizantes | 59 | 59 | 0 |
| Protección de cultivos ^a | 55 | 37 | -18 |
| Otros costes variables | | | |
| Total | 298 | 307 | +9 |
| Margen bruto | 444 | 509 | +65 (+15%) |

^aUna pulverización de 18€/ha para el control de la plaga del piral del maíz, correspondiendo el resto del gasto de protección del cultivo al herbicida para el control de las malas hierbas.

Nota: Basado en los datos de Abel (2006), los datos de los ensayos de campo del 2005 de Monsanto Company, los costes variables ajustados para el 2006–2007 (Brookes, 2007a) y los precios son la media de los años 2004–2006.

2.4.3 Impacto en el medio ambiente (uso de insecticidas)

Allí donde la tecnología del maíz Bt está reemplazando al uso de los insecticidas, está disminuyendo claramente la cantidad de insecticida usado y su repercusión en el medio ambiente. Considerando que en el 2006 en la República Checa se utilizaron insecticidas para combatir el piral del maíz en unas 33.000 ha de maíz (y suponiendo que la superficie sembrada con maíz Bt estaba sustituyendo a los cultivos que recibían tratamientos), se podría reducir la superficie tratada con insecticidas anualmente en 34.000 ha.

2.4.4 Micotoxinas

Los resultados de los ensayos del 2005 de Monsanto Company mostraron que los niveles de micotoxina (DON, FUM) en los granos de una variedad de maíz Bt fueron bastante inferiores a los de su equivalente convencional. La cantidad de FUM expresada en partes por millón pasó de 600 ppb a unos 50 ppb, y la cantidad de DON pasó de 100 ppb a unos 10 ppb.

2.5 Portugal

Aunque en 1999 se sembraron 1300 ha de maíz Bt, no volvieron a sembrarse cultivos comerciales hasta el 2005. En el 2005 y 2006 se sembraron 500 y 1240 ha de maíz Bt.

El mercado potencial del maíz Bt en Portugal (dirigido al piral, allí donde los niveles de infestación anual son altos) es de 15.000 ha, lo que equivale a aproximadamente el 10% de la superficie de maíz para grano, o al 6% del maíz total (incluido el maíz forrajero) de Portugal (*fuentes*: Monsanto Company, 2003–2007). El mayor grado de infestación se localiza en Alentejo y Ribatejo, dándose también casos en Porto.

2.5.1 Impacto en el rendimiento por el uso de la semilla del maíz Bt

En los ensayos de Monsanto Company realizados en el 2005 se apreció un aumento medio del rendimiento de 1,19 toneladas/ha (+12%) respecto a los cultivos sin tratar. En los resultados provisionales de los ensayos del 2006 (en cinco campos) se aprecia una mejora en el rendimiento de entre +8–+17%.

2.5.2 Impacto en los costes y en el beneficio de la explotación

Los datos de los ensayos de campo del 2005 de Monsanto Company, considerando que no hay costes por insecticidas y una semilla Premium de 35€/ha, muestran que los productores de maíz Bt logran un aumento de la rentabilidad media del margen bruto de +112€/ha (+22%), frente a los productores de maíz convencional sin tratar (Tabla 6).

Tabla 5 Impacto por el uso de maíz Bt en la rentabilidad agraria en Portugal, 2006 (€/ha)

| | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional |
|---------------------------|-------------------|---------|-------------------------------|
| <i>Ingresos</i> | | | |
| Precio (€/tonelada) | 133 | 133 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 8.8 | 9.9 | +1.1 |
| Ingresos ventas | 1170 | 1317 | +147 |
| <i>Costes variables</i> | | | |
| Semillas | 164 | 199 | +35 |
| Fertilizantes | 211 | 211 | 0 |
| Protección de cultivos | 71 | 71 | 0 |
| Riego | 209 | 209 | 0 |
| Total | 655 | 690 | +35 |
| Margen bruto | 515 | 627 | +112 (+22%) |

Nota: El rendimiento medio usado para el análisis del margen bruto es la media del país para cultivos de regadío; este valor es inferior al rendimiento medio del cultivo convencional de los ensayos realizados por Monsanto Company. Los costes variables son del 2006–2007.

Fuente: Brookes (2007a) y los precios son la media del 2004–2006. Todos los costes de la protección del cultivo corresponden a los herbicidas de los agricultores que no usan ningún insecticida para controlar el piral/el barrenador del maíz.

2.5.3 Impacto en el medio ambiente (uso de los insecticidas)

Como actualmente sólo se utilizan pequeñas cantidades de insecticidas, es probable que su uso sea insignificante.

2.6 Polonia

Hasta la fecha no se ha sembrado ningún maíz Bt comercial; en el 2006 se sembraron pequeñísimos "ensayos precomerciales" (30 ha). Hace pocos años, la presencia del piral en Polonia se circunscribía fundamentalmente a algunas regiones del Sur y el Sureste del país. Sin embargo, ha aumentado su prevalencia y la mayoría de las regiones de Polonia están sufriendo en la actualidad algún grado de infestación. Mientras que el grado de infestación varía de un año a otro, y por regiones, el Instituto de Protección Vegetal (Beres, 2007) estima que, desde el 2003, cada año, entre el 93 y el 98% de los cultivos de maíz del Sureste de Polonia sufren el ataque del piral del maíz. Prácticamente no se han empleado ni insecticidas ni *Trichogramma* para controlar el piral, sobre todo porque la presión de esta plaga es variable, de forma que algunos años prácticamente no se producen daños, y como algunos agricultores probablemente no aprecian el daño que el piral causa en la producción, y consideran que el coste del tratamiento es alto (64–77€/ha *Trichogramma*, 26€/ha insecticidas) (Monsanto Company, 2003–2007), no logran apreciar su eficacia (eficacia de insecticidas 62–89%, eficacia de *Trichogramma* 57–59%) (Berés y Lisowicz, 2005).

2.6.1 Impacto en el rendimiento por el uso del maíz Bt

Los ensayos preliminares oficiales para el registro de variedades realizados en el 2005 y la comparación entre tres variedades de maíz Bt de diferentes compañías frente a sus equivalentes han permitido observar que el maíz Bt tiene un impacto positivo en el rendimiento, que oscila entre +2– +23% (+0,2– +2,7 toneladas/ha). En los ensayos realizados por Monsanto Company en 2006, en los que se comparan dos variedades de maíz Bt con sus variedades convencionales equivalentes, se observó un aumento del rendimiento del 25–26% (+2.15– +2.19 toneladas/ha).

2.6.2 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

Aplicando el impacto en el rendimiento en los ensayos del 2005 y 2006 (ver arriba) a los márgenes brutos actuales, en la Tabla 7 se pone de relieve el alcance del posible impacto (que depende en gran parte del nivel de infestación del piral). En las regiones de infestación baja de piral (o en los años en los que la infestación es más baja que la media), no se consigue un gran aumento del rendimiento, lo que puede hacer que la rentabilidad del margen bruto sufra una reducción neta. Sin embargo, en las zonas/años de infestación alta, es probable que se produzca un aumento significativo del rendimiento y de la renta.

Tabla 7 Impacto del uso de maíz Bt en el margen bruto medio del maíz en Polonia, 2006 (€/ha)

| | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional |
|---------------------------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| <i>Ingresos</i> | | | |
| Precio (€/tonelada) | 128 | 128 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 5.75 | 5.84–7.19 | 0.09–1.44 |
| Ingresos ventas | 736 | 748–920 + | 12–+184 |
| <i>Costes variables</i> | | | |
| Semillas | 95 | 140 | +45 |
| Fertilizantes | 166 | 166 | 0 |
| Protección de cultivos | 62 | 62 | 0 |
| Otros costes variables | 235 | 235 | 0 |
| Total | 558 | 603 | +45 |
| Margen bruto | 178 145–317 – | 33–+139 | (–18–+78%) |

Nota: Precio del grano de maíz basado en la media entre el 2004–2006, Rendimiento: grado del impacto basado en un +1,6–+25%, semilla premium basada en +45€/ha, protección del cultivo suponiendo que no ha sido alterado (*i.e.* que no se dan tratamientos contra el taladro en el cultivo convencional) siendo todos los costes de los herbicidas.

Fuente: Datos de los costes convencionales provenientes del Servicios de extensión y asesoramiento agrarios polaco (WODR) y presentado en Brookes (2007a), *European arable crop profit margins, 2006–2007*.

2.6.3 Impacto en el medio ambiente (uso de los insecticidas)

Como actualmente sólo se utilizan pequeñas cantidades de insecticidas, es probable que su uso sea insignificante. El aumento de la incidencia del cultivo del piral en el maíz de Polonia, sugiere que en los próximos años deberá hacerse uso de los insecticidas para combatir esta plaga, algo (el posible futuro uso de los insecticidas) que podría reemplazarse con la tecnología Bt.

2.6.4 Micotoxinas

Tekiela y Gabarkiewicz (2007) estudiaron y compararon en el 2005 la incidencia del *Fusarium* y del contenido de micotoxinas en Bt frente al maíz convencional. Se efectuaron comparaciones entre cuatro Bt y sus variedades de maíz convencional equivalentes, en dos localizaciones en el sureste de Polonia. En todos los casos, los niveles de micotoxinas (FUMs B1, B2 y B3 y Deoxinivalenona) fueron significativamente inferiores en el maíz Bt que en el maíz convencional (Tabla 8).

Tabla 8 Niveles de micotoxinas en maíz Bt frente al maíz convencional (resultados de los ensayos) Polonia, 2005

| Partes por millón | Maíz Bt | Maíz convencional |
|----------------------|------------------|-------------------|
| Deoxinivalenol (DON) | menos que 50–155 | 148–1141 |
| Fumonisina (FUM) B1 | 0–25 | 121–409 |
| Fumonisina (FUM) B2 | 0–8 | 44–103 |
| Fumonisina (FUM) B3 | 0 | 6,7–13 |

Fuente: Tekiela y Gabarkiewicz (2007)

2.7 Eslovaquia

Las primeras siembras comerciales de maíz Bt se realizaron en el 2006 (30 ha). Se estima que el piral del maíz causa daños de importancia económica a aproximadamente la tercera parte de la superficie cultivada con maíz del país, por ejemplo, 50.000 ha (Brookes, 2007b). En Eslovaquia se utilizan muy poco los insecticidas para controlar el piral. Esto obedece a los mismos motivos mencionados para los anteriores países (*e.g.* la presión del piral es variable, se considera que la eficacia de los insecticidas es limitada).

2.7.1 Impacto en el rendimiento por el uso del maíz Bt

Los resultados de las siembras comerciales del 2006 señalan la presencia de un impacto positivo que oscila entre +10–+14.7% (Monsanto Company, 2003–2007).

2.7.2 Impacto en los costes y los beneficios de la explotación

El análisis presentado en Brookes (2007b) en el que se considera que no hay costes por los insecticidas, se apreció un aumento de la rentabilidad media del margen bruto que oscila entre +32–+63€/ha (+8.9–+17.5%, Tabla 9).

Tabla 9 Impacto por el uso del maíz Bt en la rentabilidad de las explotaciones en Eslovaquia, 2006 (€/ha)

| | Maíz convencional | Maíz Bt | Maíz Bt frente a convencional |
|---------------------------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| <i>Ingresos</i> | | | |
| Precio (€/tonelada) | 96 | 96 | 0 |
| Rendimiento (tonelada/ha) | 6.97 | 7.67–7.99 | +0.7–1.02 |
| Ingresos ventas | 669 | 736–767 | +67–98 |
| <i>Costes variables</i> | | | |
| Semillas | 90 | 125 | +35 |
| Fertilizantes | 79 | 79 | 0 |
| Protección de cultivos | 60 | 60 | 0 |
| Otros costes variables | 79 | 79 | 0 |
| Total | 308 | 343 | +35 |
| Margen bruto | 361 | 393–424 | +€32–+€63 (+8.9–+17.5%) |

Fuente: Impacto en el rendimiento de +10–+14.7% usado por Brookes (2007a) basado en resultados de ensayos y de la experiencia comercial en la República Checa y en siembras comerciales en Eslovaquia. Los costes variables del 2006–2007 (Brookes 2007a) y los precios son la media del 2004–2006. Los costes de protección del cultivo corresponden a herbicidas y no se usan insecticidas.

A nivel nacional, el impacto positivo anual en las rentas agrarias probablemente oscilará entre +1.5 y +3 millones de euros (basándose en que se adoptará esta tecnología en un tercio de la superficie total cultivada con maíz).

2.7.3 Impacto en el medio ambiente

El impacto positivo en el medio ambiente del maíz Bt probablemente será escaso porque hoy en día prácticamente no se usan insecticidas en Eslovaquia. Sin embargo, el aumento en la incidencia del piral sugiere que el uso de los insecticidas dirigidos a esta plaga podría aumentar en los próximos años, algo (el posible futuro uso de los insecticidas) que podría reemplazarse con la tecnología Bt.

3 Discusión

En este artículo se examinan los datos sobre el impacto asociado al uso del maíz MG resistente a insectos (Bt) desde 1998, en una serie de estados miembros de la UE. El resumen de los principales resultados, que se presentan en la tabla 10, muestra una serie de similitudes relacionadas con el impacto de la tecnología, y algunas diferencias. Estas se resumen y se discuten a continuación:

- En todas las zonas productoras de maíz de la UE afectadas por el piral y el barrenador del maíz, en las que se utiliza el maíz Bt, los resultados de los diversos estudios examinados muestran sistemáticamente que el impacto primordial por el empleo del maíz Bt es el aumento del rendimiento respecto al maíz convencional no-MG. El beneficio medio obtenido por el aumento del rendimiento fue a menudo de +10% y en ocasiones mayor.
- No obstante, es importante reconocer que el impacto de la tecnología ha sufrido variaciones a lo largo de los años y entre los diferentes estados miembros (y entre las localidades de las regiones y de los estados miembros). Esto refleja en gran medida la variabilidad de los ataques del piral y del barrenador en los cultivos de maíz. Cuando los cultivos sufren ataques pequeños, o ningún ataque de la plaga, la pérdida de producción tiende a ser pequeña, y el impacto positivo que tendría el uso del maíz Bt en la producción también sería escaso (*e.g.* de tan sólo el +1%). Por el contrario, en los años y en las regiones en los que el daño producido por el piral y la *Sesamia* fue importante (*i.e.* ocasionó importantes pérdidas en la cosecha; a menudo de hasta el -10—20%), el impacto positivo que tuvo el maíz Bt fue mucho mayor (*e.g.* llegó hasta el +24%). Esta pauta de impacto en el rendimiento (variable) de la tecnología Bt no difiere de la de cualquier otra tecnología usada para controlar las plagas del maíz (*e.g.* el uso de los insecticidas o los controles biológicos) excepto en que el nivel de eficacia del maíz Bt (para controlar el piral y el barrenador) ha sido significativamente mayor que el de las alternativas convencionales.
- En el 2006, los productores de maíz Bt obtuvieron, de media, unos ingresos adicionales de entre 65€ y 141€/ha. Esto equivale a una mejora del rendimiento de +12—+21%. El resultado del impacto en los ingresos de otros años (de los que hay datos) también muestra un impacto positivo constante de la tecnología, aunque como se indicó anteriormente para el impacto en el rendimiento, éste varía en función del grado y la extensión del daño producido por la plaga por años y por regiones.
- En algunas regiones en las que se han llevado a cabo estudios, el maíz Bt ha proporcionado mejoras importantes y constantes en la calidad del grano, gracias a disminuir significativamente los niveles de micotoxinas encontrados en el grano. Esto no es de extrañar dado que el piral y el barrenador dañan los cultivos de maíz haciéndoles propensos al daño de los hongos y a desarrollar/acumular micotoxinas en el grano. Como ocurre con el impacto de la tecnología en el rendimiento y en la renta, el impacto positivo en la calidad del grano varió según la región y el año dependiendo del grado del ataque de la plaga que conduce a que los hongos causen daños y se desarrollen de micotoxinas en los cultivos.

Tabla 10 Beneficios agronómicos y económicos derivados del uso del maíz Bt resistente al piral en la UE (1998–2006)

| | Spain | France | Germany | Czech Republic | Portugal | Poland | Slovakia |
|--|---|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Bt maize area (2006, ha) | 53,667 | 5200 | 950 | 1290 | 1240 | 30 | 30 |
| Area of high ECB infestation (ha) | 80,000 | 300,000 – 750,000 | 300,000– 500,000 | 31,000 37,000 | 15,000 | Not available | 50,000 |
| Average yield of Bt versus conventional Maize (%) ^a | +1– +15 | +5– +24 | +14– +15 | +9– +10 | +12% | Average not available | Average not available |
| Average Bt maize seed premium (2006, €/ha) ^a | 35 | 40–45 | 39–42 | 31–38 | 35 | 45 | 35 |
| Average conventional maize gross margin (2006–2007, €/ha) ^b | 1146 | 559 | 683 | 444 | 515 | 178 | 361 |
| Average impact on profitability (€/ha) | +141 (+12%) in high infestation regions | +98– +120 (+16– +21%) | +83– +93 (+12%– +14%) | +65 (+15%) | +112 (+22%) | Average not available | Average not available |
| Impact on grain quality (reduction in mycotoxin levels) | Significant reduction | Significant reduction | Significant reduction | Significant reduction | No studies | Significant reduction | No studies |

^a Average across various regions, infestation levels and studies.

^b Variable costs largely from Brookes (2007a) European Arable Crop Profit Margins 2006–2007, 5th edition, prices based on averages for the years 2004–2006.

Note: Conv: Conventional.

Los resultados presentados en este artículo también concuerdan con los del análisis del impacto de la tecnología del maíz Bt en otros países de fuera de la UE (*e.g.* Norte y Sudamérica, Sudáfrica y Filipinas). En todos los países en los que se usa la tecnología, los agricultores han experimentado un aumento constante de su producción y sus beneficios, con una variación por años y por regiones del impacto que refleja la incidencia variable de los ataques de las plagas y del daño.¹¹

Agradecimientos

El autor agradece la ayuda proporcionada por Monsanto SA Bruselas para la realización de esta investigación, especialmente por los datos sin publicar proporcionados. No obstante, el análisis presentado corresponde únicamente al análisis independiente del autor.

Referencias

- Abel, C. (2006) 'Czech in time for GM crops', *Farmers Weekly*, Vol. 145, No. 18, pp.36–38.
- AGPM/Arvalis (2006) Programme PACB 2006-Annexe 1: Mais OGM en plein champ: des résultats probants.
- Bakan, B., Melcion, D., Richard-Molard, D. and Canagnier, B. (2002) 'Fungal growth and fusarium mycotoxin content in isogenic traditional maize and GM maize grown in France and Sapin', *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, Vol. 50, pp.728–731.
- Beres, P. (2007) 'Effects of chemical control of the European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn), In South-Eastern Poland in 2003–2005', *Journal of Plant Protection Research*, (submitted for publication in 2006).
- Berés, P. and Lisowicz, F. (2005) 'Effectiveness of *Trichogramma* spp. in maize protection against European corn borer (*Ostrinia nubilalis* Hbn.) in ecological farms', *Progress in Plant Protection/Postepy W Ochronie Roslin*, Vol. 45, pp.47–51.
- Brookes, G. (2002–2004) *European Arable Crop Profit Margins*, 2nd to 4th editions, Gloucester, UK: GBC Ltd. Brookes, G. (2003) 'The farm level impact of using Bt maize in Spain', *7th ICABR Conference on Public Goods and Public Policy for Agricultural Biotechnology*, Ravello, Italy. Available at: <http://www.pgeconomics.co.uk>. Accessed on January 2007.
- Brookes, G. (2007a) *European Arable Crop Profit Margins*, 5th edition, Gloucester, UK:GBC Ltd.
- Brookes, G (2007b) 'The potential role of GM cost reducing technology in helping the Slovak arable cropping sector remain competitive', *PG Economics*, Dorchester, UK, Available at: <http://www.pgeconomics.co.uk>. Accessed on January 2007.
- Brookes, G. and Aniol, A. (2005) 'The possible impact of using GM agronomic traits in Polish arable crops', *9th ICABR Conference on Public Goods and Public Policy for Agricultural Biotechnology*, Ravello, Italy, Available at: <http://www.pgeconomics.co.uk>. Accessed on January 2007.
- Brookes, G. and Barfoot, P. (2005) 'GM crops: the global economic and environmental impact: the first nine years 1996–2004', *AgBioforum*, Vol. 8, Nos. 2/3, pp.187–196. Available at: <http://www.agbioforum.org>. Accessed on January 2007.
- Brookes, G. and Barfoot, P. (2007) 'GM crops: the first ten years– global socio-economic and environmental impacts', *AgBioForum*, Vol. 9, No. 3, pp.1–13.
- Daems, W., Demont, M., Muska, F., Sonkups, J. and Tollens, E. (2006) 'Potential impact of biotechnology in Eastern Europe: transgenic maize, sugar beet and oilseed rape in the Czech Republic', *10th ICABR Conference on Agricultural Biotechnology*, Ravello, Italy.
- Degenhardt, H., Horstmann, F. and Mulleder, N. (2003) 'Bt maize in Germany: experience with cultivation from 1998 to 2002', *Mais*, Vol. 2.
- Demont, M. and Tollens, E. (2003) 'Impact of biotechnology in Europe: the first four years of Bt maize adoption in Spain', *EUWAB-project*, Department of Agricultural and Environmental Economics, K U Leuven, Belgium, Available at: <http://www.agr.kuleuven.ac.be/aee/clo/wp/demont2003h.pdf>. Accessed on January 2007.

- Demont, M. and Tollens, E. (2005) 'Potential impact of biotechnology in Eastern Europe: transgenic maize, sugar beet and oilseed rape in Hungary', Katholieke Universiteit Leuven. Available at: <http://www.agr.kuleuven.ac.be/aee/clo/ep/demont2005a.pdf>. Accessed on January 2007.
- Deutscher Bundestag (2006) *Drucksache*, 16/3059.
- Gianessi, L., Sankala, S. and Reigner, N. (2004) 'Potential impact for improving pest management in European agriculture: maize case study', Available at: <http://www.ncfap.org>. Accessed on January 2007.
- Gomez-Barbero, M. and Rodriguez-Cerezo (2006a) 'The adoption of GM insect-resistant Bt maize in Spain and its economic consequences for farmers: an empirical approach', *Paper Presented to the 10th International Conference on Agricultural Biotechnology: Facts, Analysis and Policies*, Ravello Italy.
- Gomez-Barbero, M. and Rodriguez-Cerezo (2006b) 'Economic impact of dominant GM crops worldwide (2006b) Eur 22547', Joint Research Council, <http://ftp.jrc.es/eur22547en.pdf>.
- Grenouillet, C. (2006) 'Intérêt du maïs Bt Yieldgard pour limiter le risque de développement de fusarioses des épis et la présence de mycotoxines dans les grains', *AFPP 8th Conférence sur les maladies des plantes*, Tours, France, 5–6 December 2006.
- Kovach, J., Petzoldt, C., Degni, J. and Tette, J. (1992) 'A method to measure the environmental impact of pesticides', *New York's Food and Life Sciences Bulletin*, NYS Agricultural Experiment State Cornell University, Geneva, NY, Vol. 139, p.8 annually updated.
- Labatte, J., et al. (1996) 'Field evaluation of and modelling the impact of three control methods on the larval dynamics of *Ostrinia nubilalis*', *Journal of Economic Entomology*, Vol. 89, pp.852–862.
- Magg, T., Bohn, M., Klein, D., Merditaj, V. and Melchinger, A. (2003) 'Concentration of moniliformin produced by *Fusarium* species in grains of transgenic Bt maize hybrids compared to their isogenic counterparts and commercial varieties under European corn borer pressure', *Plant Breeding*, Vol. 122, pp.322–327.
- Monsanto Company (2003–2007) *Trial results From Several Years in Spain, Portugal, France, Czech Republic, Poland and Slovakia*.
- Papst, C., Utz, H., Melchinger, A., Eder, J., Magg, T., Klein, D. and Bohn, M. (2005) 'Mycotoxins produced by *Fusarium* spp. in isogenic Bt vs. non-Bt maize hybrids under European corn borer pressure', *American Journal of Agronomy*, Vol. 97, pp.219–224.
- Poeydemenge, C. (2006a) 'Les bénéfiques du maïs Bt observés en France', *Presentation to the SEPROMA General Assembly*, 21 September 2006.
- Poeydemenge, C. (2006b) 'Bt maize benefits observed in France', *Presentation to 10th ICABR Conference on Agricultural Biotechnology*, Ravello, Italy, July 2006.
- Serra, J., Lopez, A. and Salva, J. (2006) 'Varietats de blat de moro geneticament modificades (GM) amb resistència al barrinadors', *Productivitat I alters parameters agronomiques*, Dossier Tecnic del DARP, Generalitat de Catalunya, Vol. 10, pp.13–18.
- Tekiela, A. and Gabarkiewicz, R. (2007) 'Fusarium spp. occurrence and mycotoxin content in grain of GM corn varieties', *Institute of Plant Protection*, Rzeszow, and Monsanto Poland, Warsaw.

Notas

- ¹El lector debe tener en cuenta que esta clasificación es una simplificación basada en la experiencia porque en regiones con una presión de la plaga tradicionalmente alta pueden encontrarse áreas con una presión de la plaga relativamente baja y vice versa.
- ²La mayoría clorpirifos y piretroides.
- ³ El lector debe tener en cuenta que el impacto en el coste y el medio ambiente están muy ligados al nivel de infestación y éste al impacto en el rendimiento. Además, en el 2006 el recargo de la semilla del maíz MON 810 fue 35€/ha (Monsanto Company, 2003–2007). El recargo en la semilla por usar el carácter Bt 176, que ya no existe, osciló en el 2002 entre 18 y 30€/ha (Brookes, 2003).
- ⁴Este agricultor indicó que en el año uno el ataque del piral fue medio y el impacto por el uso del maíz Bt fue positivo, que la infestación del año dos fue baja y por lo tanto el impacto del uso del maíz Bt fue negativo, que el año tres correspondió a un año de ataque del piral alto de forma que el impacto por el uso del maíz Bt fue positivo, y que en el año cuatro no hubo ningún ataque del piral y el impacto del maíz Bt fue negativo
- ⁵Este indicador universal, desarrollado por Kovach et al. (1992) y actualizado anualmente, integra eficazmente los distintos impactos en el medio ambiente de cada pesticida en un único "valor de campo por hectárea". Esto permite una evaluación más equilibrada del impacto de los cultivos MG en el entorno puesto que hace uso de todos los datos clave de toxicidad y de exposición medioambiental relacionados con cada uno de los productos, como los aplicables al impacto en los trabajadores de la explotación, los consumidores y la ecología, y proporciona una medida sistemática e integral del impacto en el medio ambiente.
- ⁶El volumen medio de ia del insecticida usado es 0.96 kg/ha y el CIA de campo medio es 42/ha.
- ⁷Basado en estudios realizados en dos lugares; uno en Girona (zona costera) y uno en Lleida durante los años 2004 y 2005.
- ⁸Eficacia frente a las plagas objetivo – en términos de % mortalidad.
- ⁹El coste de la tecnología es 40€–45€/ha (AGPM/Arvalis, 2006; Monsanto Company, 2003–2007; Poeydemenge, 2006a,b).
- ¹⁰El recargo en la semilla a pagar por los agricultores en el 2006 fue 23€/unidad de semilla, equivalente a entre 39 y 42€/ha, dependiendo de la densidad de siembra de la semilla.
- ¹¹ La densidad de siembra de la semilla varía por países y por lo tanto puede hacer que el recargo de la semilla Bt citada sea diferente en cada país.
- ¹²Ver por ejemplo Brookes y Barfoot (2007) para revisar los impactos globales.