

Beneficios y perjuicios de la Ingeniería Genética en Agricultura

ÁLVARO GONZÁLEZ GARCINUÑO¹

Universidad de Salamanca

alvaro_gonzalez@usal.es

SUMARIO

La población mundial crece de manera descontrolada. Se estima que alcancemos los 9 mil millones de personas en 2050². Este incremento tan abultado obliga a obtener más recursos del medio ambiente para poder alimentar a esta creciente población. La Ingeniería Genética aplicada a la agricultura es una forma de conseguir estos objetivos. Con ella se puede incrementar el rendimiento de la tierra, evitar el daño que causan las plagas en los vegetales o atenuar el efecto de sequías, heladas...

Sin embargo, estas prácticas no gozan de una buena aceptación social. Muchas organizaciones tratan de desprestigiar esta tecnología que tiene un papel clave en el futuro. A lo largo del siguiente estudio se tratará de demostrar la inocuidad de los productos modificados genéticamente, así como presentar la situación actual de estos cultivos a lo largo del mundo.

Palabras clave: Ingeniería genética, agricultura, cultivos, rendimiento.

SUMMARY

Global population is growing without control. Estimations said that we will be 9 thousand millions in 2050. This giant increase must obtain more resources from environment in order to feed this growing population. Genetic Engineering applied in agriculture is one of

1 Álvaro González Garcinuño es estudiante de 3º de Grado en Biotecnología.

2 Insituto Francés de Estudios Demográficos: www.ined.fr.

the methods for solve this objectives. With these techniques, field yield could be improved, and we can control damage that plagues cause into vegetables. Also we can reduce the effect of drought or frost.

Nevertheless, these practices do not have good social acceptance. Lots of organizations discredit this technology which have crucial site in the future. Along this study, harmlessness of genetically modified products will be proved, and also, there will be a presentation of the situation of these crops around the world.

Key words: Genetic Engineering, Agriculture, crops, yield.

1. LOS ALIMENTOS TRANSGÉNICOS. EVOLUCIÓN HISTÓRICA, SISTEMAS DE TRANSFORMACIÓN Y ACEPTACIÓN SOCIAL

Una planta transgénica es aquella cuyo genoma ha sido modificado por ingeniería genética, para originar uno o varios genes nuevos, o para modificar la función de un gen propio de la planta silvestre. La ciencia que se ocupa de mejorar las plantas de interés agrario con técnicas de ingeniería genética se denomina Biotecnología Agrícola.

Podemos situar el nacimiento de la disciplina en 1953, cuando Watson y Crick descubren la estructura del DNA, la doble hélice. En este momento se encuentra en pleno auge la conocida “Revolución verde”, un intento de mejorar las técnicas agrícolas para poder abastecer a las necesidades alimentarias de la población. Esta revolución consiguió especies de trigo, maíz y arroz que crecían más robustamente, y se consiguió aumentar la producción en un 125%³. El gran impulsor de estas mejoras es Norman Borlaug (1914-2009), al que se le considera el padre de la Biotecnología Agrícola. Ligada a esta Revolución verde se desarrollan las primeras semillas sintéticas en 1977. Y durante los años 80 se mejoran las técnicas de manipulación de ácidos nucleicos, hasta conseguir la primera planta transgénica, en 1982, en *Nicotiana tabacum*, desarrollada por Barton⁴. Sin embargo, hasta 1994 la FDA⁵ no pudo comercializar la primera planta transgénica, *Solanum lycopersicum*, un tomate que tardaba más tiempo en madurar porque inhibía la enzima poligalacturonasa, responsable del ablandamiento de los frutos.

3 Gurdev S. Khush, “Green revolution: the way forward”, *Nature Reviews Genetics* (2001).

4 K.A. Barton et al., *Regeneration of intact tobacco plants containing full length copies of genetically engineered T-DNA, and transmission of T-DNA to R1 progeny*, Cell, 1983.

5 FDA: Food and Drug Administration. Agencia de EEUU que evalúa los alimentos y los fármacos.

1.1. FORMA DE DISEÑO DE UNA PLANTA TRANSGÉNICA

Es necesario comentar en este estudio la forma de realizar una planta mejorada genéticamente. Presentamos ahora el sistema más sencillo, y más utilizado. Este sistema es el que va mediado por la bacteria patógena de plantas *Agrobacterium tumefaciens*.

Agrobacterium es una bacteria que ataca la planta cuando en esta se ha producido una herida. La herida de la planta provoca la secreción de unas sustancias volátiles, llamados polifenoles. Esos polifenoles son detectados por la bacteria, que se acerca desde el suelo a la herida, y accede a la planta⁶. Dentro de la planta la bacteria se multiplica y sintetiza opinas, que causan un tumor o callo en la base del tallo de la planta.

La infectividad de la bacteria se basa en el plásmido Ti, un fragmento extracromosomal, que tiene la capacidad de integrarse dentro de las células de la planta, mediado por unas proteínas Vir que le ayudan.

La clave del sistema se encuentra en transformar ese plásmido, retiramos los genes que son responsables de la síntesis de opinas, causantes del tumor en la planta, y colocar ahí, nuestro gen de interés. Este gen será el que le aporte a la planta la nueva propiedad que deseamos expresar en ella. Junto a ese gen se suele colocar un marcador de selección, es otro gen que prueba que el plásmido se ha metido dentro de la célula. Habitualmente este marcador de selección es un gen de resistencia a un antibiótico, de tal forma, que las plantas que crezcan en presencia de ese antibiótico serán las que sean transformadas, las otras morirán por culpa del antibiótico. Todo debe ir colocado dentro del fragmento de T-DNA (es decir entre Right border y Left border). En la imagen se observa la colocación de los genes dentro del plásmido Ti.

Hay otros métodos para transformar, como la agroinfiltración, la transformación de protoplastos por electroporación, la biolística (también conocida como pistola de ADN que lo introduce a presión en la célula). A pesar de ser estas últimas unas técnicas más sofisticadas no tienen tanta eficiencia de transformación como la anteriormente presentada. Eso hace que el sistema *Agrobacterium* sea el gran método de transformación genética de plantas.

6 Uchimiya, "Transgenic plants", *Journal of Biotechnology* 12 (1989). 1-19.

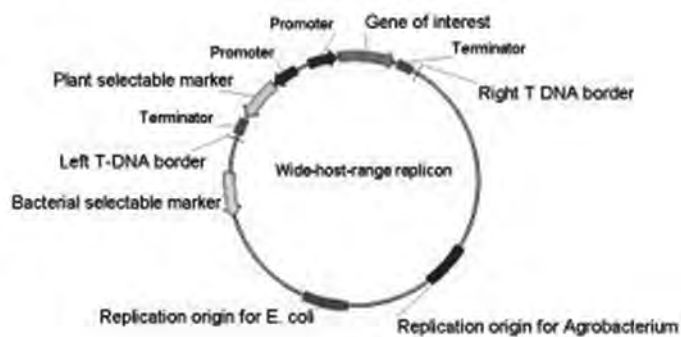


Figura 1. *Plásmido Ti*. Fuente: Elaboración propia.

1.2. EVOLUCIÓN DEL CULTIVO DE TRANSGÉNICOS

Desde el momento de su comercialización, han ido aumentando los países que aceptaban estos cultivos, así como las variedades aceptadas. A continuación mostramos los datos actuales de la producción mundial de alimentos transgénicos.

Los tres cultivos más extendidos son el maíz, la soja y el algodón. El cultivo transgénico de soja supera los 73 millones de hectáreas (aproximadamente el 50% del total mundial), el maíz se sitúa en los 46 millones de hectáreas (representando el 31% de la superficie dedicada a esta especie) y el algodón unas 21 hectáreas (un 14% del área mundial dedicado al algodón)⁷.

Si analizamos los datos por países, vemos como se muestra en la Figura 1, cómo los países en vía de desarrollo han superado ya a los países industrializados en superficie cultivada con plantas transgénicas.

Analizando los datos en superficies cultivadas, EEUU cultiva más de 69 millones de hectáreas, con una gran variedad de productos (maíz, colza, algodón, caña de azúcar, papaya...), en segundo lugar está Brasil, con unas 36 millones de hectáreas cultivando soja, maíz y algodón; y en tercer lugar Argentina, 24 millones de hectáreas con soja, maíz y algodón transgénico⁸. Los cultivos han aumentado con el paso de los años, pues como expondremos en apartados sucesivos se consigue un mayor rendimiento de la cosecha, que permite solucionar en parte problemas de hambruna en países en vías de desarrollo.

⁷ Datos facilitados por la International Service for Acquisition of Agri-biotech Applications (ISAAA). Informe de 2010.

⁸ Datos facilitados por la ISAAA. Informe de 2012. Reporto n Global Status of Biotech/GM crops.

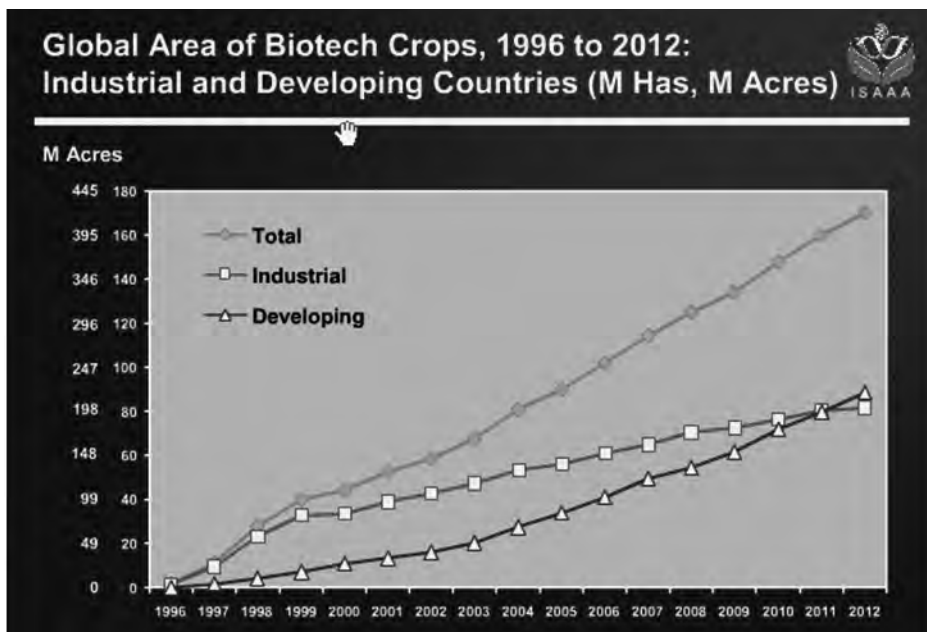


Figura 2. Evolución de los cultivos biotecnológicos 1996-2012. Fuente: ISAAA

Ninguno de los países de la Unión Europea se encuentra entre los 10 primeros en hectáreas cultivadas. La Unión Europea tiene comercializadas muy pocas especies, que citamos a continuación:

- Maíz resistente a taladro: SYN-EV176-9; de la compañía Syngenta, autorizado por la decisión 2007/304/EC
- Maíz resistente a taladro: MON810, de la compañía Monsanto, autorizado por la decisión 2007/308/EC
- Patata Amflora®, que mejora el almidón, usada para cultivo y uso industrial, de la compañía BASF en 2010⁹.

A pesar de tener estos cultivos aprobados, hay 6 países dentro de la Unión Europea que han decidido “salvaguardar” sus campos de estas plantas. Son Austria, Luxemburgo, Grecia, Francia, Alemania y Hungría. En estos países se contra-

⁹ Datos obtenidos del EU Register of GMO's. (Registro Europeo de organismos modificados genéticamente) http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm.

dice a lo expresado por la Comisión Europea y no se pueden sembrar ninguno de estos eventos transgénicos. España es el país donde más se cultiva maíz transgénico, aproximadamente 75.000 hectáreas, lo que es aproximadamente el 20% del total del maíz sembrado en nuestro país¹⁰. En España, el cultivo de maíz transgénico se ha estancado en estos datos durante los últimos cuatro años, tras un inicio con gran crecimiento.

Uno de los principales motivos por los que no se implantan los cultivos transgénicos en Europa es porque no gozan de una buena aceptación social. La gran mayoría de la ciudadanía europea no acepta estos cultivos por desconocimiento y porque las únicas noticias que tienen de ellos, llegan de la mano de los medios de comunicación, controlados en gran medida por asociaciones ecologistas de corte anti-transgénico que tratan de contagiar a la sociedad ese miedo ante lo desconocido, que como argumentaremos más adelante, carece de cualquier rigurosa base científica.

Los europeos desconocen lo que es una planta transgénica, según datos del Eurobarómetro del año 2010¹¹ se desprende lo siguiente:

- El 18% de los europeos no había oído hablar nunca de los organismos modificados genéticamente (OMG), el 27% brevemente, y sólo el 9% confesaba que leía información al respecto con frecuencia
- El 23% de los entrevistados estaba de acuerdo o bastante de acuerdo con los alimentos transgénicos, mientras que el 61% estaba en contra o muy en contra de ellos.
- Si analizamos los datos por países, en el Reino Unido es donde el apoyo ciudadano es mayor, un 44%, mientras que en países donde las campañas son abundantes y hay una clara persecución hacia esta tecnología, como Francia o Grecia, el apoyo cae a niveles del 15%
- En España, fruto de las campañas de desprestigio se ve una caída en los apoyos sociales muy notoria, en 15 años la aprobación ha pasado del 66% al 35%, estando aún así, bastante por encima de la media de los 27 estados miembros.

Es interesante, para argumentar la idea de que el desconocimiento ciudadano es un factor crucial, analizar la comparativa entre el apoyo a transgénicos y a cisgénicos. Definimos *cisgenia* como: modificación de cultivos añadiendo solamente

10 Datos facilitados por el Ministerio de Agricultura del Gobierno de España (2010).

11 European Commission. *Europeans and Biotechnology in 2010. Winds of Change?*

genes provenientes de la misma especie, o de especies de plantas que sean “cruza-
bles” de forma natural, con la especie de estudio.

Ante la pregunta sobre una posible manzana cisgénica, los encuestados cam-
bian de opinión, y el porcentaje de apoyos a esta tecnología es aproximadamente
el doble que a los transgénicos. Esto implica un desconocimiento por parte de los
europeos de las técnicas de Biología Molecular que se utilizan para la transforma-
ción de plantas.

Es necesario por tanto, la divulgación científica de los beneficios de esta nueva
variedad de cultivos, así como de su inocuidad para el consumo humano. Por esta
razón durante los sucesivos folios se van a ofrecer refutaciones técnicas y científi-
camente probadas a los argumentos esgrimidos por las organizaciones con fines
anti-transgénicos.

2. ARGUMENTOS EN CONTRA POR MOTIVOS TÉCNICOS

a) Resistencias

“Las plagas desarrollan resistencias a medio y largo plazo”.

El maíz transgénico, conocido como maíz Bt, es resistente al insecto taladro
Ostrinia nubilans, que causa pérdidas en numerosas zonas. Consigue esta resisten-
cia debido a que expresa la proteína Bt de *Bacillus thuringiensis*, que es letal para
el insecto. El maíz Bt es sembrado en España, especialmente en Aragón, Cataluña
y ciertas regiones de Castilla-La Mancha donde este insecto tiene gran incidencia.

Según los grupos opositores a estos cultivos, se podrían desarrollar resisten-
cias por los insectos a esta proteína de tal manera que el maíz Bt no matara al insecto.
Se han realizado estudios sobre las poblaciones de taladro durante los últimos
10 años, y se puede concluir que no se han visto organismos que tengan resistencia
a la toxina Bt¹².

En la Figura 3 se muestran las escasas variaciones en la concentración letal 50
(concentración que mata al 50% de los taladros) y en la concentración efectiva 50
(concentración a la cual se inhibe el crecimiento del 50% de la población).

12 Siegfried B.D., Spencer, T. Crespo, A.L. Storer, N.P. Head, G.P. Owens, E.D. Guyer, D.
“Ten Years of Bt Resistance Monitoring in the European Corn Borer: What We Know, What We
Don’t Know, and What We Can Do Better” *American Entomologist* 53 (2007) 208-215.

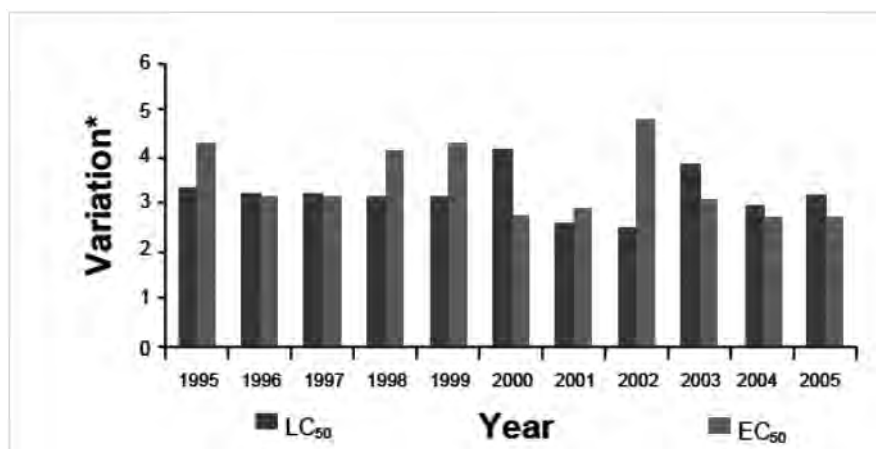


Figura 3. Dosis letal 50 (azul) y dosis efectiva 50 (rojo) en taladro infectado con toxina Bt.

Suponiendo que tras muchos años, el taladro ganara resistencia a esta toxina, el problema que se generaría sería exclusivamente industrial, habría que desarrollar un nuevo evento de maíz transgénico para poder hacer frente al insecto mejorado, algo similar a lo que ha ocurrido en la industria farmacéutica con los antibióticos al aparecer sucesivas resistencias a penicilina.

b) Productividad

“La producción de cultivos transgénicos es menor que los convencionales”.

Este es, sin duda, uno de los argumentos más fácilmente refutables, la prueba más significativa de ello es que los agricultores deciden continuar con este modelo de siembra porque les supone incrementar sus beneficios ya que aumenta su producción. Esto es fácilmente comprobable, ya que si evitamos perder un porcentaje amplio de la cosecha por causa de insectos como el taladro, esa cosecha que antes tirábamos ahora la podemos vender y obtener beneficios por ella.

Los datos son aportados por un estudio realizado en varios lugares de Europa, observando el cultivo transgénico en el período 1998-2005¹³.

13 G. Brookes, “The impact of using GM insect resistant maize in Europe since 1998”, *Int. J. Biotech* 10 (2008) 148-166.

Table 1 Impact of Bt maize on yield in Spain (1998–2005)

Regions	Base maize yield	Yield of Bt compared to conventional maize		Comments	Reference
	tonnes/ha	tonnes/ha	%		
Huesca (Sarinena)	10	+1	+10 (+2– +20)	High infestation region; insecticides previously used	Brookes (2003)
Several regions	12.51	+1.5	+15 (+10+40)	No insecticides previously used	Brookes (2003)
		0.75	+6	Trial plots across a number of regions in 1997 (insecticides previously used on conventional crops)	Alcalde (1999)
Huesca (Barbastro)	15	+ 0.15	+1	One farmer, low average infestation; no insecticides previously used	Brookes (2003)
15 locations (Catalonia, Aragon and Navarra)	13	+ 1.3	+10	Field trials; conventional crop included treated and not treated (with insecticides) plots	Monsanto Company (2003–2007)
Aragon, Catalunya and Castilla La Mancha	Not cited in original literature		Perceived: +1– +14; Measured average: +5	Survey of 400 farms, incl. 218 Bt maize users; may include some conventional crops treated with insecticides	Gomez-Barbero and Rodriguez-Cerejo (2006a,b)
Range	10–13	0.2–1	1–40	-	-

Figura 4. Rendimiento del cultivo de maíz Bt frente a convencional en España entre 1995 y 2005. Fuente: Brookes, G. (2008).

Centrándonos en los datos de España, que se muestran en la Figura 4, podemos observar un incremento del 10-15% del rendimiento por cada hectárea, que extrapolando a beneficios económicos supone unos 120€ extra de rendimiento por cada hectárea. Esto provoca la unanimidad entre los agricultores españoles encuestados, que siguen año tras año renovando sus cultivos con maíz transgénico.

c) Coexistencia

“Ha habido muchos casos de fecundación cruzada entre transgénicos y no transgénicos, lo que ha perjudicado a muchos agricultores”.

Es posible que hayan ocurrido algunos casos hace años de fecundación cruzada entre plantas modificadas y plantas silvestres, pero no es lo habitual. Varios estudios han concluido que la coexistencia es posible si se llevan a cabo buenas

prácticas agrícolas¹⁴, como dejar distancias adecuadas de separación entre unos y otros, colocar juntas especies que florezcan a distinto tiempo para que no estén en el aire dos tipos de polen diferentes. En España no se ha registrado aún ningún procedimiento judicial entre agricultores vecinos por contaminación de maíz. Además se ha comparado que en el 99% de los casos, el maíz transgénico no alcanza más de 5 metros alrededor¹⁵ por lo que pequeñas hileras asegurarían una clara distinción entre cultivos modificados y no modificados.

En la figura 5 tenemos un diagrama del estudio anteriormente citado, donde GM representa la zona sembrada por maíz transgénico, y se recogieron muestras de polen en cada una de las letras marcadas ABCDEF. El porcentaje de polen transgénico a cada distancia es el que sigue:

A – 7m – 1,84% polen transgénico/ **B** - 14m – 1.20%/ **C** - 28m – 0.78%/
D - 70m – 0.55%/ **E** - 140m – 0.35%/ **F** – 210m – 0.24%

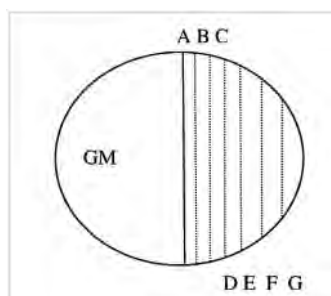


Figura 5. Medidas tomadas de polen transgénico a distintas distancias.

Fuente: Devos Y. (2005)

Como vemos por tanto, con un espacio suficiente, aproximadamente 15m, se obtienen valores despreciables de contaminación, que entran dentro del margen de error del propio aparataje.

14 G. Brookes, *Co-existence of GM and non GM crops: current experience and key principles*, PG Economics (UK) (2004).

15 Y. Devos, D. Reheul, A. De Schrijver, "The co-existence between transgenic and non-transgenic maize in the European Union: a focus on pollen flow and cross-fertilization", *Environment Biosafety Research* 4 (2005) 71-87.

3. ARGUMENTOS EN CONTRA POR MOTIVOS ECONÓMICOS

a) Beneficios monopolizados

“Las compañías biotecnológicas son las principales beneficiarias de la tecnología transgénica y además tienen monopolio”.

Hay numerosos estudios que demuestran que los agricultores son los grandes beneficiados. En el trabajo de Brookes G. sobre España¹⁶, se recopilaron datos de los presupuestos de los agricultores de la zona de Zaragoza. En la figura 6 observamos cómo varía el presupuesto del agricultor al cambiar el maíz convencional por el maíz transgénico. En dicho presupuesto vemos que el incremento de la semilla se compensa con un menor gasto por un menor uso de los pesticidas y con un mayor aprovechamiento de la tierra (más toneladas de maíz por hectárea). En conclusión, un 12% más de margen de beneficios.

Table 2 Impact on gross margin of using Bt maize, based on field trials 2003–2005 (€/ha)

	<i>Conventional maize</i>	<i>Bt maize</i>	<i>Bt versus conventional maize</i>
<i>Revenue</i>			
Price (€/tonne)	127	127	0
Yield (tonnes/ha)	10.61	11.72	+1.11
Sales revenue	1347	1488	+141
<i>Variable costs</i>			
Seed	166	201	+35
Insecticide	35	0	-35
Total	201	201	0
Gross margin	1146	1287	+141 (+12%)

Figura 6. Comparación de gastos-ingresos entre maíz tradicional y maíz Bt.
Fuente: Brookes, G. (2008).

Hay otros muchos estudios que prueban que las ventajas son también para los consumidores y los agricultores. Esto se hace de especial interés en regiones en vías de desarrollo, donde el acceso a los alimentos es complicado y el índice de pobreza es alto. Argentina es el tercer país con mayor superficie de transgénicos

16 G. Brookes, “The impact of using GM insect resistant maize in Europe since 1998”, *Int. J. Biotech* 10 (2008) 148-166.

cultivada, y los beneficios recaen¹⁷: en los consumidores (53%), en las empresas semilleras (34%) y en los agricultores (13%), siendo por tanto, la gran ventaja para el consumidor final que ve abaratados los precios y más accesible el consumo de alimentos.

Con respecto al monopolio, van aumentando día a día el número de empresas que están en el mercado, no es sólo Monsanto la empresa que opera en exclusiva. Hay otras empresas como Syngenta, DuPont, Aventis, BASF... Es por otro lado normal, debido a los altos requerimientos legislativos para introducir en el mercado los productos, pues eso desanima a muchos emprendedores a apostar por innovar en este campo.

b) Dependencia de la empresa semillera

“Los agricultores están atados a las empresas fabricantes de semillas, para la compra de estas y de los fitosanitarios”.

El agricultor goza de la libertad de no seguir comprando en años consecutivos semillas transgénicas si no lo desea. Es libre para volver a sembrar la semilla tradicional y el uso anterior de una transgénica no le ha cambiado las condiciones del suelo, por lo que podría volver a cómo estaba anteriormente.

Es cierto que las empresas semilleras comercializan a la par los productos herbicidas que terminan con las malas hierbas circundantes exceptuando la planta transgénica. Esto es una estrategia comercial, perfectamente lícita, como ocurre en otros aspectos de la vida económica como las cafeteras que sólo usan un determinado tipo de cápsulas de café. Como comentamos antes, el agricultor tiene siempre la opción de retractarse si no quiere asumir estas condiciones contractuales. Aún así, los números muestran que los agricultores que iniciaron los cultivos transgénicos continúan haciéndolo.

4. ARGUMENTOS EN CONTRA POR MOTIVOS SOCIALES Y SANITARIOS

a) Salud

“Los alimentos transgénicos son perjudiciales para la salud, el insecticida producido por estas plantas entra en la cadena alimentaria humana”.

17 T. Raney, “Economic impact of transgenic crops in developing countries”, *Current Opinion in Biotechnology* 17 (2006) 174-178.

Los alimentos transgénicos son los más controlados de la historia, sufren estrictos procedimientos para su siembra en campo y para su comercialización. En la Unión Europea este cometido lo realiza la ESFA¹⁸, una agencia independiente, formada por expertos en nutrición, toxicología, alergenicidad, medio ambiente... En EEUU es realizado por la FDA como comentamos anteriormente.

Una prueba fehaciente de su inocuidad es la ausencia de un solo caso de enfermedad derivada de un consumo de transgénicos. Se han realizado numerosos estudios probando la inocuidad de la toxina Bt secretada por el maíz Bt para matar al taladro, se ha comprobado que no se incorpora al metabolismo humano¹⁹, y buena prueba de ello es que los campos ecológicos se rocían con esta toxina, para combatir el taladro, quedando en la superficie de los frutos y eso tampoco causa problemas de salud a los consumidores.

Además de eso, se ha visto una reducción en otras microtoxinas presentes de forma natural en el maíz²⁰, que sí tienen repercusión negativa para los seres humanos, como las de ciertas especies de *Fusarium*, causando patologías como hiperestrogenismo o del sistema gastro-intestinal²¹.

b) Resistencias a antibióticos

“Los cultivos modificados genéticamente pueden generar resistencia de las personas a los antibióticos”.

Los genes de resistencia a antibióticos son una constante en la naturaleza, siempre han existido bacterias y hongos con estos genes, que les hacían prevalecer sobre el resto de la población de semejantes que se morían en presencia del antibiótico. Durante muchos años el hombre ha convivido con ellos, y nunca ha adquirido la propiedad de ser resistente a antibióticos.

Se estudió en pollos alimentados con maíz transgénico, analizando si las bacterias de su intestino adquirían los genes de resistencia²², y concluyeron su experi-

18 Autoridad Europea para la Seguridad Alimentaria.

19 M. Oelck, E. Rasche, “Building confidence in genetically modified foods”, *Farm Industry News* (U.S.) December 43-44 (1999).

20 F. Wu, “Field Evidence: Bt Corn and Mycotoxin Reduction”, *ISB News Report* (2008).

21 M.W. Trucksess et al. “Determination and survey of deoxynivalenol in white flour; whole wheat flour, and bran” *Journal of Association of Official Analytical Chemists International*, 79 (1996), 883-887.

22 PA. Chambers et al. “Fate of antibiotic resistance marker genes in transgenic plant feed material fed to chickens”, *Journal of Antimicrobial Chemotherapy* (UK), 49 (Jan 2002) 161-164.

mento sin obtener bacterias del tracto intestinal que fueran resistentes a los antibióticos que tenía el maíz. Además, para evitar problemas de resistencias de las propias bacterias ya no se permite usar eso como marcador de transformación, y para estudios diversos se usan otros antibióticos no usados en humanos, como nigromicina o neomicina.

c) Suicidios en la India

“En India el algodón transgénico ha supuesto la ruina de miles de agricultores, que ha llevado al suicidio de 200.000 agricultores en diez años”.

Las organizaciones anti-transgénicos promovieron una campaña de difusión en contra de los transgénicos alegando que en los diez años de implantación del algodón Bt se han suicidado 200.000 agricultores motivados por la ruina que suponen semillas más caras y menos rendimiento.

Parece ser que el índice de suicidio en los agricultores indios es muy elevado, pero también lo era antes de empezar con este cultivo, según se desprende de un informe difundido por la agencia independiente IFPRI²³ y publicado posteriormente en Nature²⁴. En él se compara la tasa de suicidios anual en el período 2002-2007 (5 primeros años de la siembra de las nuevas especies) y todos los datos obtenidos años atrás, y no se ven variaciones estadísticas significativas, por lo que no se pueden relacionar esos suicidios con el algodón Bt.

Este mismo estudio demuestra además, que los agricultores indios aumentan su producción con el algodón Bt, pasando de unos 300 kg/ha. a más de 500 kg/ha. Esto ha provocado que India deje de ser importador para ser exportador de algodón a nivel mundial.

5. ARGUMENTOS EN CONTRA POR MOTIVOS MEDIOAMBIENTALES

a) Incremento consumo pesticidas y herbicidas

“Con las plantas tolerantes a herbicidas, el agricultor usa mayores cantidades de agrotóxicos para acabar con las malas hierbas”.

23 Instituto Internacional de Investigación en Política Alimentaria.

24 Cormac Sheridan, “Doubts surround link between Bt cotton failure and farmer suicide”, *Nature Biotechnology* 27 (2009) 9-10.

Las variedades biotecnológicas han reducido drásticamente la dependencia de los agricultores de los productos fitosanitarios. Esta fue una de las conclusiones de un reciente y amplio proyecto en el que se realizó un inventario de los cambios en el uso de agroquímicos por hectárea por los cultivos transgénicos, comparando con los cultivos convencionales, y para el que se reunieron datos de fuentes públicas, que incluían bibliografía científica e informes publicados por instituciones especializadas. Varios estudios amplios realizados en los EE.UU. señalaron que los cultivos resistentes a herbicidas (colza, algodón, maíz, soja) redujeron el consumo de pesticidas en 474 millones de kg (-9%) entre 1996 y 2011, mayor cantidad que la empleada en la UE 27 a lo largo de un año²⁵.

Por otro lado, aunque es cierto que el agricultor podría echar más dosis porque no pierde el cultivo, es evidente que le interesa usar el menos herbicida posible, pues supondría un ahorro.

En España, los agricultores que cultivaron maíz Bt usaron casi tres veces menos tratamientos agroquímicos que los agricultores de maíz convencional²⁶.

Average numbers of annual pesticide treatments against corn borer on surveyed farms

Province	Conventional corn farmers	Bt corn farmers
Albacete	0.64 ± 0.73 (n = 61)	0.19 ± 0.50 (n = 42)
Lleida	0.21 ± 0.50 (n = 52)	0.06 ± 0.24 (n = 66)
Zaragoza	1.52 ± 0.86 (n = 71)	0.57 ± 0.54 (n = 87)
Total average	0.86 ± 0.91 (n = 184)	0.32 ± 0.50 (n = 195)

Figura 7.

Frequency distribution of number of pesticide treatments used by farmers cultivating conventional corn or Bt corn

Number of treatments	Conventional corn farmers	Bt corn farmers
0	77 (42%)	136 (70%)
1	68 (37%)	56 (29%)
2	29 (16%)	3 (2%)
3	8 (4%)	0 (0%)
4	2 (1%)	0 (0%)
Total number of farmers	184 (100%)	195 (100%)

Figura 8.

25 <http://www.europabio.org/gm-crops-global-socio-economic-and-environmental-impacts-1996-2011>.

26 M. Gómez-Barbero, J. Berbel, E. Rodríguez-Cerezo, "Bt corn in Spain-the performance of the EU's first GM crop", *Nature Biotechnology* 26 (2008) 384-386.

b) Tóxicos para otros organismos

“El aumento del uso de productos químicos elimina o afecta gravemente a la fauna no objetivo”.

Varios estudios han confirmado que el Bt es más específico y tiene menos efectos secundarios que los pesticidas convencionales. De hecho, en las explotaciones ecológicas se ha utilizado Bt como alternativa a los insecticidas convencionales durante casi 60 años. Se le considera un producto muy selectivo y respetuoso con el medioambiente. De hecho, existen variedades del Bt, cada uno específico de una o varias especies de insecto, por lo que el maíz Bt resistente al taladro no afecta a otras especies. Diferentes estudios han comprobado que:

Por lo general, los organismos no-objetivo suelen abundar más en los campos de maíz Bt que en los campos no-transgénicos controlados con insecticidas²⁷.

Los cultivos Bt que se producen hoy en día son más específicos y tienen menos efectos secundarios en los organismos no-objetivo que la mayoría de los insecticidas actuales. Hasta ahora no se han observado efectos adversos en los enemigos naturales no-objetivo como consecuencia de la toxicidad directa de los cultivos Bt²⁸.

c) Amenaza para los ecosistemas

“Las plantas Bt producen una toxina insecticida llamada Bt que se acumula en el suelo”.

En un estudio llevado a cabo en Argentina, se cuantificó la cantidad de proteína Cry presente en cultivos de maíz transgénico y maíz no-transgénico, no observándose diferencias significativas entre ambos casos²⁹. Lo cual descartaba la excreción de esta proteína a través de la raíz al suelo (ya que la proteína Cry regula la secreción de los productos al suelo). Sin embargo, se observó un nivel basal de esta proteína presente en el suelo, que posteriormente se vio que correspondía a producto del *Bacillus thuringiensis* presente en el suelo (no de la planta propiamente dicho).

27 M. Marvier, C. McCreedy, J. Regetz, P. Kareiva, “A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates”, *Science* 316 (2007) 1475-1477.

28 J. Romeis, M. Meissle, F. Bigler, “Transgenic crops expressing *Bacillus thuringiensis* toxins and biological control”, *Nature Biotechnology* 24 (2006) 63-71.

29 Ezequiel Margarit, Martín I. Reggiardo, Hugo R. Permingeat, “Bt protein rhizosecreted from transgenic maize does not accumulate in soil”, *Electronic Journal of Biotechnology* Vol.11 Issue 2 (2007).

Table 3. Immunological detection of CryIAb protein in soil samples.

Hybrid (event)	Date	CryIAb protein (pg / g soil) ^{a1}
Pucará (Control)	February 2002	29 ± 3
	May 2002	30 ± 2
	August 2002	12 ± 1
	November 2002	16 ± 3
	March 2003	10 ± 3
Pucará TD (176)	February 2002	8 ± 3
	May 2002	17 ± 3
	August 2002	3 ± 2
	November 2002	27 ± 4
	March 2003	21 ± 2
30F82 (control)	February 2002	16 ± 2
	May 2002	13 ± 3
	August 2002	10 ± 1
	November 2002	11 ± 3
	March 2003	23 ± 2
32G63 MG (MON810)	February 2002	16 ± 4
	May 2002	9 ± 4
	August 2002	9 ± 2
	November 2002	4 ± 1
	March 2003	37 ± 2

Three soil samples were obtained at intervals of three months. Total proteins were quantified by the Bradford method, and CryIAb protein was detected and quantified using a commercial ELISA kit (Envirologix), ^{a1}mean ± SD.

Figura 9.

d) Reducen la biodiversidad

“La contaminación genética pone en peligro variedades y especies cultivadas tradicionalmente”.

Con la introducción de las plantas transgénicas, se ha creído que la diversidad genética entre las especies de cultivo disminuiría debido a que los programas de crecimiento se concentrarían en unas pocas variedades de alto valor económico.

Sin embargo, se ha visto que no ocurre de esta forma, comprobándose en cultivos de algodón que la uniformidad genética no había variado mucho con la intro-

ducción del algodón transgénico³⁰. Es más, la uniformidad genética disminuyó un 28% durante el periodo de introducción de los cultivos transgénicos, aunque los defensores de esta teoría argumentan que los efectos de esta disminución de la biodiversidad se observarán en el futuro.

Así, la biotecnología permitirá un aumento en la biodiversidad al utilizar variedades cuyo uso se ha visto limitado por los métodos de cultivo tradicionales, lo que aportará la introducción de otros caracteres beneficiosos que se habían relegado.

6. ARGUMENTOS EN CONTRA POR MOTIVOS LEGISLATIVOS Y DE PROCEDIMIENTO

“La ausencia de normas para minimizar la contaminación de los campos, de segregación entre cosechas, y de control y transparencia [...] están llevando a la agricultura no transgénica a una situación de crisis sin precedentes”.

“Se convive con errores administrativos, seguimiento deficiente, presencia de variedades ilegales, campos experimentales no autorizados sin que haya un registro. No hay ningún respeto a las distancias mínimas entre parcelas,...”.

Esto es totalmente falso. Como sabemos, las plantas transgénicas deben superar muchísimas barreras antes de que se permita su cultivo. En Europa, estas cosechas se encuentran férreamente reguladas, y son muchísimas las trabas con las que nos encontraríamos si quisiéramos sacar al mercado una variedad transgénica. Existen numerosas leyes, reglamentos y Decretos que son muy difíciles de superar y que establecen trabas insuperables en algunos casos.

Por esto, la mayoría de los cultivos transgénicos a nivel mundial se realizan fuera de Europa, sobre todo en América, que es el continente con mayor superficie cultivada de OGM.

En Europa, el mecanismo de aprobación de un cultivo transgénico incluye a la EFSA (Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria), organismos científicos gubernamentales y no gubernamentales de los Estados Miembros, Ministerios y la Comisión Europea.

30 Klaus Ammann, “Effects of biotechnology on biodiversity: herbicide-tolerant and insect resistant GM crops”, *Trends in Biotechnology*, Volume 23 Issue 8 August (2005) 388–394. D.T. Bowman et al. “Genetic uniformity of the US upland cotton crop since the introduction of transgenic cottons”, *Crop Sci* 43 (2003) 515–518.

A continuación se presentan los esquemas del proceso de aceptación de un cultivo transgénico, primero en un país y luego a nivel europeo³¹.

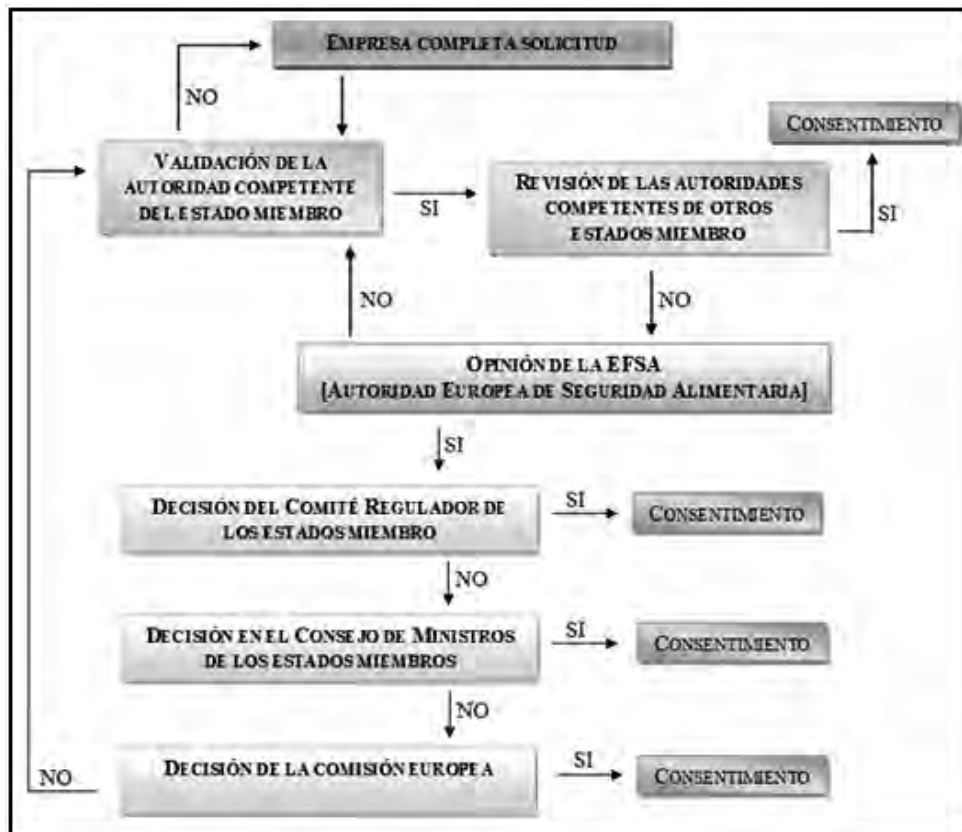


Figura 10.

31 <http://fundacion-antama.org/wp-content/uploads/2009/10/0021-Legislacion-vigente.pdf>



Figura 11.

7. PROPAGANDA ANTITRANSGÉNICA

Desde que se siembran y comercializan los transgénicos, han salido a la luz diversos “estudios” que aseguran que los transgénicos son los responsables de descenso en el número de insectos o de la aparición de tumores en animales alimentados con OGM. A continuación procedemos a desmontar estos sinsentidos:

a) Aparición de tumores en ratones

En septiembre de 2012 se hacía público un estudio, llevado a cabo por G.E. Séralini, biólogo molecular francés de la Universidad de Caen, en el que se decía

que unos ratones alimentados con maíz transgénico de la variedad MON810 resistente al herbicida Roundup® (glifosato), eran muchísimo más propensos a desarrollar tumores que en algunos casos alcanzaban el tamaño de una pelota de ping-pong³².

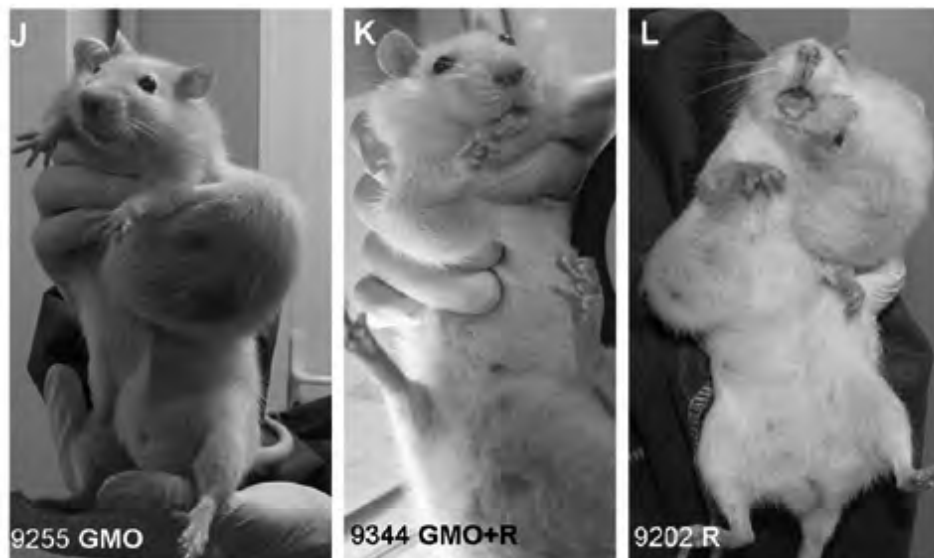


Figura 12. *Ratones del estudio*. Fuente: Seralini (2012).

El estudio se realizó de la siguiente forma: para cada sexo, un grupo control era alimentado con maíz normal de la línea isogénica más próxima al maíz GM y tenía acceso a agua normal, seis grupos se alimentaron con maíz transgénico en distintas proporciones (11, 22 o 33%) tratado o no con Roundup®. Los últimos tres grupos fueron alimentados con dieta control y tenían acceso a agua suplementada con Roundup® en distintas concentraciones.

Inmediatamente, estas declaraciones saltaron a los medios internacionales, escandalizando tanto a detractores como a partidarios de los OGM, por las distintas implicaciones que suscitaba este estudio.

32 Seralini et al. "Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize", *Food and Chemical toxicology* 50 (2012) 4221-4231.

Este estudio generó en la comunidad científica un absoluto rechazo, por las condiciones en que estaba hecho, pues parecía que estaba preparado para obtener precisamente estos resultados, por lo que se aportaron las siguientes objeciones:

- Deficiencias en la estadística y en la metodología del estudio, el tamaño de la muestra, de 10 individuos cada grupo, es demasiado pequeño y el grupo control es inadecuado para extraer conclusiones generalizables. No proporciona los valores P.
- Las ratas usadas son muy propensas a sufrir tumores de forma espontánea; en 1973 se indicó que la aparición de tumores de forma espontánea en la variedad Sprague-Dawley es del 45%³³.
- La duración del estudio fue de dos años, el tiempo de vida completo de estos animales, por lo que es más fácil que aparezcan estos tumores.
- El maíz como única dieta alimenticia de las ratas no es un punto de análisis realista. Además, el estudio no indica la cantidad de maíz con la que se alimentó a las ratas durante el estudio.
- Se ha dicho que el 86% de las ratas macho y el 72% de las ratas hembra sufrieron tumores dos años después de empezar a alimentarse con maíz modificado genéticamente, pero estos datos no aparecen en ningún punto del estudio.
- Los datos que sustentan las conclusiones del estudio no han sido difundidos.
- En todo el mundo, millones de animales de granja se alimentan con maíz y soja transgénica. Además, desde 1996 se han consumido muchísimos alimentos con ingredientes transgénicos en todo el mundo, sin que se haya detectado ni un solo caso de riesgo para la salud humana o animal.
- Se han realizado multitud de estudios sobre animales de experimentación previos a este tan polémico sin que nunca se haya encontrado algún riesgo.

Por todo esto, este estudio se ha rechazado como prueba de que los transgénicos serían tóxicos o peligrosos para la salud.

b) La mariposa monarca

En 1999, se llevó a cabo un estudio con larvas de mariposa monarca en el que se indicaba que el polen del maíz Bt era letal en esta especie³⁴. El estudio consistió

33 J. D. Prejean, J. C. Peckham, A. E. Casey, et al. "Spontaneous Tumors in Sprague-Dawley Rats and wiss Mice", *Cancer Res* 33 (1973) 2768-2773.

34 John E. Losey, Linda S. Rayor & Maureen E. Carter, "Transgenic pollen harms monarch larvae", *Nature* 399 (1999) 214.

en tomar tres grupos de larvas de mariposa monarca, que se alimentan exclusivamente de hojas de *Asclepias syriaca*, y estudiar su evolución frente a hojas sin polen, hojas con polen de maíz normal y hojas con polen de maíz GM. Se observó que el crecimiento y la ingesta se reducían en el último caso, además de que la mortalidad era mayor.

Finalmente, este estudio se rechazó por llevarse a cabo en laboratorio con una cantidad indeterminada de polen, por lo que los resultados no son extrapolables³⁵. Además el polen de maíz es de los que tienen menor rango de dispersión por viento debido a su gran tamaño, y en el caso de que llegara a esta planta de la que se alimentan las larvas de la mariposa monarca, recientes estudios han indicado que estas larvas no se alimentan del polen, sino de las hojas de esta planta.

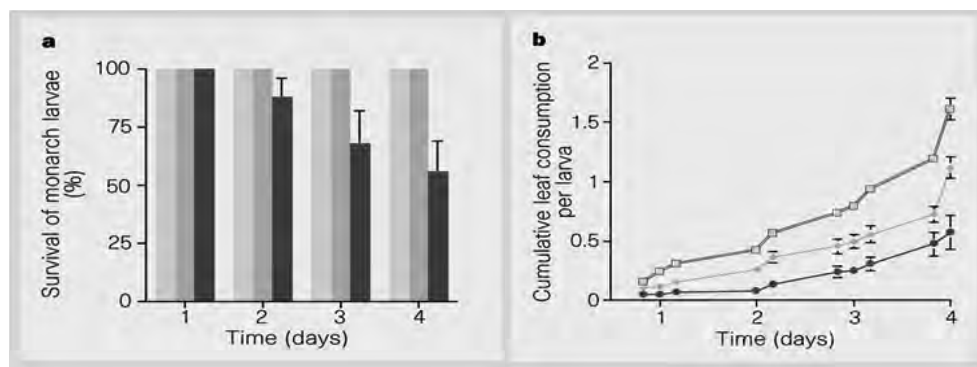


Figura 13. Evolución de la población de la mariposa monarca. Fuente: Shelton (2001).

c) La desaparición de las abejas

Diferentes organizaciones achacan la desaparición de las abejas al aumento en el cultivo de los transgénicos. Sin embargo, distintos datos contradicen estas especulaciones, pues en Austria o Francia, países con una férrea oposición a los transgénicos, se ha reducido notablemente el número de colonias, mientras que en España, en los últimos 10 años el número de colonias ha aumentado. De hecho, en Aragón y Cataluña, donde se localiza el 73% de los cultivos transgénicos españoles, el número de colmenas ha aumentado un 21,4% desde 2005, justo el periodo donde más se han desarrollado estos cultivos en ambas regiones³⁶.

35 AM Shelton, MK Sears, "The monarch butterfly controversy: scientific interpretations of a phenomenon", *Plant Journal* (2001).

36 <http://fundacion-antama.org/tu-tambien-eres-antama-es/>

8. CONCLUSIONES

Desde muchas organizaciones anti-transgénicas se está llevando a cabo una campaña de desprestigio hacia los transgénicos, dando la impresión de que son peligrosos para la sociedad, y que su existencia no conlleva más que peligros.

Estas falsas acusaciones se hacen fuertes por el desconocimiento de los métodos de transformación genética y porque apenas se escuchan los estudios que prueban su inocuidad para el ser humano y el medio ambiente.

En este estudio hemos probado la escasa base científica que presentan las afirmaciones realizadas por los opositores a esta tecnología. Hemos podido ver como en un período tan amplio que ha pasado desde la comercialización de la primera planta, no se han detectado graves perjuicios por su uso. Es por ello por lo que se debe instar a las instituciones, en particular a la Unión Europea a que se atrevan a dar el salto hacia la aprobación de más variedades transgénicas. El continuo incremento de la población, y con ello de las demandas nutricionales, sumado a la crisis económica, obliga a apostar por la tecnología y la innovación en agricultura y en alimentación para conseguir crecer económicamente.

Por ello es necesaria una gran divulgación científica relacionada con este tema, que llegue a los distintos sectores de la sociedad, de una forma comprensible. De esta manera los ciudadanos verán la otra cara de la moneda que antes les permanecía oculta.

Finalmente, también es necesario recordar que no hay nada perfecto, por lo que es necesario seguir trabajando y realizar estudios constantes sobre los transgénicos, pues se trata de una tecnología muy nueva y debe estar en continua vigilancia.

9. BIBLIOGRAFÍA

- A. Dookun, "Agricultural Biotechnology in developing countries", *Biotechnology annual Review* vol. 7 (2001).
- Fundacion-antama.org. *La leyenda negra de los transgénicos* (2007).
- RJ. Reece, *Analyses of genes and genomes*, University of Manchester (2004).
- Shigemi Seo, Hiroshi Sano, Yuko Ohashi. "Transgenic manipulation of signaling pathways of plant resistance to pathogen attack", *Biotechnology annual Review* vol. 3 (1997).