

INCLUYE ACCESO
A LA VISUALIZACIÓN
ONLINE DEL FONDO
COMPLETO DE LA
REVISTA

Derecho y Biotecnología

15

3.^a época. Núm. 15. 2012. ISSN: 0212-8217



Revista de la
Facultad de
Derecho
de la Universidad de Granada

TRANSGÉNICOS Y MEDIOAMBIENTE

Transgenic and Environmental

DR. LUIS F. GARCÍA DEL MORAL GARRIDO

Catedrático del Dpto. de Fisiología Vegetal

Facultad de Ciencias

Miembro del Instituto de Biotecnología

Universidad de Granada

(lfgm@ugr.es)

SUMARIO:

I. INTRODUCCIÓN. II. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS. III. EFECTOS MEDIOAMBIENTALES. IV. ESCAPE DE GENES: LA CONTAMINACIÓN GÉNICA. V. ESCAPE DE GENES: LA COEXISTENCIA. VI. PRESIÓN SELECTIVA DEL CULTIVO TRANSGÉNICO SOBRE LOS PATÓGENOS A CONTROLAR. VII. EFECTOS SECUNDARIOS POTENCIALES SOBRE ORGANISMOS NO PERJUDICIALES. VIII. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD. IX. LOS OMGs FAVORECEN EL MONOCULTIVO. X. CONCLUSIONES. XI. BIBLIOGRAFÍA

I. INTRODUCCIÓN

Una planta transgénica es aquella a la que se le ha introducido un fragmento de ADN en el genoma de sus células mediante técnicas de ingeniería genética. Esta definición no incluye a las plantas transgénicas naturales que, desde hace cientos de millones de años, produce una bacteria patógena del suelo conocida como *Agrobacterium tumefaciens*, verdadera ingeniera genética natural, que introduce varios de sus genes en las células de la base del tallo de algunas plantas y las obliga a desarrollar un tumor (donde se aloja la bacteria) y a fabricar sustancias nutritivas que únicamente puede consumir la bacteria. Estas plantas transgénicas abundan en campos y jardines y cuando se trata de árboles y arbustos, son fáciles de detectar por los llamativos tumores que desarrollan en la base de los troncos. Precisamente, esta capacidad de *Agrobacterium tumefaciens* ha sido la que ha permitido obtener las actuales plantas transgénicas, sirviendo la bacteria como vehículo (*vector*) para introducir el nuevo ADN (*transgén*) de manera estable en sus células. Tampoco incluye las plantas transgénicas surgidas por hibridación espontánea entre especies silvestres muy próximas, como el caso del trigo, que surgió hace más de 12.000 años por cruzamiento natural entre dos especies de trigos silvestres y una gramínea muy próxima, dando

lugar a una nueva especie transgénica natural con tres juegos de cromosomas de especies distintas (un hexaploide, en términos científicos). Otras muchas especies cultivadas también han incorporado material genético de especies afines en el curso de su domesticación, bien de forma espontánea o dirigida por el hombre, desde los comienzos de la agricultura. A estas plantas se las denomina *paleotransgénicos* y son más abundantes de lo que se piensa, ya que la mayoría de los alimentos que consumimos proceden de ellas. Una excelente historia de la domesticación de las plantas y sus implicaciones para el desarrollo de la humanidad puede encontrarse en el libro de García Olmedo *El ingenio y el hambre* (2009).

La mejora clásica vegetal también introduce ADN en las variedades a mejorar, bien de la misma especie o de especies distintas. Las diferencias fundamentales con la transgénesis son que: 1) la ingeniería genética introduce un solo gen o muy pocos genes; 2) la transgénesis prácticamente elimina el azar en la fijación de los caracteres a mejorar (azar debido a la mezcla de genes que produce la hibridación convencional); y 3) permite la posibilidad de usar todos los genes conocidos y estudiados, sean o no de plantas. No obstante, el objetivo final sigue siendo el mismo: La selección de mejores propiedades en la variedad mejorada.

II. SITUACIÓN ACTUAL DE LOS CULTIVOS TRANSGÉNICOS

Según los últimos datos publicados (CLIVE JAMES, 2011), 16.7 millones de agricultores de 29 países han cultivado en 2011 más de 160 millones de Has de cultivos transgénicos, principalmente de soja resistente a herbicidas (fundamentalmente glifosato); maíz Bt resistente al taladro (una plaga que perfora el tallo del maíz joven hasta destruirlo); algodón resistente al gusano del copo (un insecto que agujerea el cáliz inmaduro del algodón, destruyendo las fibras); canola –una variedad canadiense de colza para aceite– resistente al herbicida glifosato; papaya resistente a virus; y algunos otros cultivos muy minoritarios en cuanto a su extensión. De estos casi 17 millones de agricultores, el 94% son agricultores pobres en países en vías de desarrollo (CLIVE JAMES, 2011), de los cuales más de 7 millones se localizan en China, 7 millones en India, casi un millón en Pakistán y 800.000 entre Filipinas, Burkina Faso, Egipto y otros países del tercer mundo. A la cabeza de los países con cultivos biotecnológicos se encuentran los EEUU de América, con 69 millones de Has (principalmente de maíz, soja, algodón, canola, remolacha azucarera y papaya). Le sigue Brasil (30.3 millones de Has de soja, maíz y algodón), Argentina (23.7 millones de Has de soja, maíz y algodón), India (10.6 millones de Has de algodón), Canadá (10.4 millones de Has de canola, maíz, soja y remolacha azucarera), China (3.9 millones de Has de algodón, papaya, álamos, tomates y pimientos), Paquistán (2.6 millones de Has de algodón) y Sudáfrica (2.3 millones de Has de maíz,

soja y algodón). También Kenia, Uganda y Nigeria han comenzado a cultivar transgénicos recientemente. España se encuentra en el puesto 17 de la lista de países con cultivos biotecnológicos, con más de 100.000 Has de maíz Bt resistente al taladro (CLIVE JAMES, 2011).

En la actualidad, los principales eventos de transformación genética son la resistencia a herbicidas, mayoritariamente al glifosato (conocido comercialmente como *Roundup*) y al glufosinato (con varios nombres comerciales como *Basta*, *Rely* o *Liberty*). El herbicida glufosato (el más utilizado para el control de malas hierbas en los cultivos transgénicos) no presenta efectos nocivos para la fauna ni para la salud humana, pero sí para las plantas, ya que bloquea una ruta bioquímica específica de los vegetales (biosíntesis de ciertos aminoácidos aromáticos). El glufosinato presenta una toxicidad muy baja para animales o humanos y una baja exposición no es dañina para la salud. La resistencia a estos herbicidas en las plantas transgénicas (soja, colza y algodón, principalmente) se consigue mediante la introducción de genes de bacterias u hongos naturales del suelo, que producen enzimas que degradan o inactivan el herbicida. Los beneficios documentados del uso de estos herbicidas frente a los tradicionales de síntesis química, es que son de amplio espectro (eliminan casi todos los tipos de plantas, excepto las resistentes); permiten usar un solo tipo de herbicida; disminuyen el número de aplicaciones necesarias durante el cultivo (con la consiguiente menor emisión de CO₂); pueden usarse en cualquier etapa del desarrollo del cultivo; son biodegradables; se descomponen con rapidez en el suelo y no dejan residuos peligrosos en los vegetales destinados a consumo humano o animal.

La resistencia a insectos se ha conseguido mediante la incorporación a las plantas transgénicas de genes de *Bacillus thuringiensis*, una bacteria cosmopolita del suelo que produce una proteína tóxica (insecticida natural) para aquellos insectos que presentan el intestino alcalino –larvas de lepidópteros principalmente–, como los causantes del taladro del maíz o el gusano del copo del algodón. Para el resto de animales o insectos cuyo intestino es ácido (como el hombre y la mayoría de insectos y animales), su toxicidad es prácticamente nula. Sus beneficios frente a los insecticidas químicos son que actúan principalmente contra lepidópteros; son inocuos para mamíferos y pájaros y menos peligrosos que los productos tradicionales para los insectos no perseguidos; reducen el uso de insecticidas químicos muy tóxicos y menos selectivos (hasta 3 tratamientos menos en el maíz o el algodón); son más económicos y no son peligrosos para los agricultores. De hecho, la famosa escritora Rachel Carson, en su libro *Primavera Silenciosa*, publicado en 1962, considerado el primer libro divulgativo sobre el impacto ambiental de la actividad humana y que se ha convertido en un clásico de la concienciación ecológica, sugería el uso de *Bacillus thuringiensis* y sus derivados (pág. 164) como alternativa a los insecticidas químicos para paliar la disminución de insectos no perseguidos y sus consecuencias sobre

las aves insectívoras de EEUU. De hecho, en las explotaciones ecológicas se ha utilizado *Bacillus thuringiensis* o sus derivados como alternativa a los insecticidas convencionales durante casi 60 años.

Estas dos transformaciones, resistencia a herbicidas e insectos, contabilizan prácticamente el 99% de las modificaciones que podemos encontrar actualmente en los cultivos transgénicos.

III. EFECTOS MEDIOAMBIENTALES

No obstante la abundancia de estudios científicos e informes sobre la seguridad medioambiental y el beneficio de los cultivos transgénicos (MANNION y MORSE, 2012) y la total ausencia de ningún problema documentado tras 17 años de cultivo en más de 160 millones de hectáreas en 29 países, los cultivos transgénicos siguen siendo objeto de una violenta crítica por parte de numerosos grupos ecologistas y asociaciones de defensa del medio ambiente. Las principales objeciones podemos agruparlas en los siguientes apartados.

IV. ESCAPE DE GENES: LA CONTAMINACIÓN GÉNICA

Una opinión muy difundida entre los ecologistas es el escape de genes de resistencia a insectos o virus hacia las plantas silvestres, las cuales adquirirán ventajas selectivas y se difundirán en las poblaciones naturales, modificando la estructura ecológica de regiones enteras. O bien que los genes de resistencia a herbicidas se escaparán y las malas hierbas se convertirán en supermalezas, imposibles de controlar en los ecosistemas agrícolas. Esta posibilidad, sin embargo, hay que analizarla en términos científicos, es decir, considerando las condiciones reales para que pueda producirse.

En primer lugar, las especies biológicas –animales o vegetales– no pueden cruzarse libremente entre sí, ya que en el curso de la evolución natural se han desarrollado barreras de incompatibilidad genética que aíslan a unas especies biológicas de las demás. Precisamente, la definición biológica de especie establece que dos poblaciones naturales pertenecen a especies distintas cuando no es posible el flujo espontáneo de genes entre ellas. En otras palabras, una patata no puede cruzarse con un trigo –o una gata con un perro– porque pertenecen a especies biológicas completamente distintas. Este cruce sí sería posible entre especies muy emparentadas genéticamente (un asno con una yegua, por ejemplo), pero el híbrido resultante, el mulo en este caso, es estéril por incompatibilidad entre los genomas parentales para la producción de gametos fértiles. En el caso de los vegetales, este cruzamiento podría ocurrir entre las plantas cultivadas y las correspondientes especies silvestres de las que proceden, siempre que en el proceso de

domesticación (paso de una especie silvestre a una variedad cultivada) no se hayan desarrollado barreras de incompatibilidad entre ambas poblaciones, silvestre y cultivada, como comentaremos más adelante.

En segundo lugar, para que una especie vegetal (silvestre o cultivada, transgénica o no) pueda diseminar genes a otras especies, es necesario que ambas se reproduzcan por vía sexual y mediante fecundación cruzada (*alogamia*, en términos botánicos), ya que hay numerosas plantas que se reproducen mediante autofecundación (*autogamia*), donde la fecundación se realiza con el polen de la misma flor, en muchas ocasiones con los pétalos aún cerrados (*cleistogamia*), para prevenir la entrada de polen ajeno procedente de flores de otro individuo. Cultivos como el trigo, la cebada, el arroz, la soja, el tomate, el algodón o el pimiento, por citar algunos de los más comunes, presentan autofecundación, por lo que muy difícilmente pueden diseminar genes a otras plantas afines o de la misma especie. Otros cultivos importantes, por el contrario, tienen fecundación cruzada, como el maíz, la colza, el girasol, la patata o la remolacha azucarera y en ellos sí sería posible una cierta diseminación de genes a especies emparentadas, aunque esta posibilidad está muy limitada en condiciones naturales, como veremos a continuación.

El tercer requisito para este escape de genes es, como hemos indicado, que convivan en el mismo lugar las plantas cultivadas y sus parientes silvestres y que en el curso de la domesticación no se hayan desarrollado mecanismos de incompatibilidad reproductora, como ha ocurrido en el maíz, por ejemplo, donde la mejora genética empírica sobre un maíz silvestre llamado teosinte y realizada en el valle de Teotihuacán (México) por los primitivos aztecas hace más de 7.000 años, ha provocado que en la actualidad ambas especies sean genéticamente incompatibles. Cada especie vegetal cultivada tiene un centro de origen o zona geográfica donde actualmente se localizan sus ancestros silvestres y donde comenzó el proceso de su domesticación hasta convertirse en cultivo. Así, el centro de origen del maíz y del pimiento se localiza en México; el trigo y la cebada, en el llamado Creciente Fértil, en las montañas de Siria y Turquía; la patata y el tomate son oriundos de Perú —el tomate también con otro centro de origen diferente en México—; el algodón se domesticó tanto en los Andes como en la India; el girasol y el calabacín proceden de América del Norte; la soja, de Manchuria; y la colza y la remolacha, de los Países Bajos. En la práctica, esto quiere decir que el maíz no puede diseminar genes en Europa o la soja en América, porque en estas regiones faltan sus ancestros silvestres sexualmente compatibles.

Además de esta limitación geográfica, es necesario que las especies emparentadas puedan cruzarse físicamente entre sí, es decir, que sean especies alógamas, que tengan los mismos períodos de floración y que la distancia entre individuos sea la adecuada para la transmisión del polen. Asimismo, otro requisito adicional es que el cruzamiento produzca híbridos

fértiles y que estos híbridos puedan sobrevivir en las condiciones naturales de competencia con las especies silvestres, normalmente mejor adaptadas a los estreses bióticos y ambientales que sus parientes cultivados, como demuestra el hecho de que las plantas cultivadas que escapan al entorno natural desaparecen en el curso de tres o cuatro generaciones.

Como vemos, el escape de genes desde las plantas transgénicas a especies silvestres está muy limitado por condicionamientos geográficos, biológicos y reproductivos, aunque sí puede ocurrir en zonas muy restringidas y bajo situaciones muy concretas. La cuestión es cómo repercutiría tal escape en el ambiente. Con los genes de resistencia a herbicidas, la planta que los incorpore adquiriría ventajas selectivas sólo cuando el herbicida –el agente selectivo– esté presente, es decir, en condiciones donde, mientras el resto de las plantas competidoras moriría por el herbicida, nuestra planta “*genéticamente contaminada*” sobreviviría. Sin embargo, y dado que los agricultores no van echando herbicidas indiscriminadamente fuera de los campos de cultivo, esta planta sería eliminada en tres o cuatro generaciones, ya que estaría consumiendo recursos en producir una proteína (la que confiere resistencia al herbicida) que no le serviría para nada, sino que, más bien, sería una carga genética que lastraría sus posibilidades de competencia con la flora silvestre.

Con respecto a la transferencia de genes de resistencia a virus o insectos, simplemente serían considerados por la selección natural como un gen más de tantos que aparecen periódicamente en la naturaleza por mutación y otras causas, y que son el motor que hace progresar la selección natural y la aparición de nuevas especies. Como en el caso de los herbicidas, si el gen aporta ventajas selectivas a la planta se conservará por selección natural, aunque hay que recordar que a la evolución vegetal no le han gustado, en general, los genes de resistencia cualitativos (un gen = una característica fija, inmutable), sino los sistemas cuantitativos (varios genes = una característica modulable, con gradaciones), que permiten un ajuste más fino a un ambiente cambiante. Finalmente, no hay que olvidar que en la naturaleza ya existen bastantes genes de resistencia a insectos, enfermedades, herbicidas y antibióticos, por lo que no se va a desequilibrar fácilmente por la introducción esporádica de alguno más.

A pesar de todo esto, y para evitar la posible eventualidad de un escape de genes, aparte de los sistemas de control, seguimiento y prevención que impone la Unión Europea, se están diseñando sistemas eficientes de transformación de cloroplastos. Es decir, en lugar de alojar el transgén en el genoma nuclear, se insertaría en el genoma del cloroplasto, ya que estos orgánulos responsables de la fotosíntesis no se transmiten por el polen, lo que terminaría definitivamente con esta polémica.

V. ESCAPE DE GENES: LA COEXISTENCIA

La objeción se basa en que un cultivo transgénico podría contaminar a otro no transgénico de la misma especie mediante el polen transgénico, si se encuentra lo suficientemente próximo y coinciden las épocas de floración. La Unión Europea ha establecido un umbral de presencia de material procedente de organismos modificados genéticamente (OMGs) del 0.9%, sobrepasado el cual es necesario que en la etiqueta aparezca que el alimento, pienso o producto contiene OMGs (este límite, sin embargo, es del 5% para productos ecológicos que contengan elementos procedentes de la agricultura convencional no ecológica). Fundamentalmente, la coexistencia se refiere a garantizar a los agricultores el derecho a escoger en la práctica entre la producción convencional, la producción ecológica y la producción de cultivos modificados genéticamente, cumpliendo las obligaciones legales sobre normas de etiquetado y de pureza. De hecho, en la legislación europea queda muy claro que la coexistencia se refiere solamente a aspectos agrícolas y económicos, no a los aspectos medioambientales y sanitarios.

Los principales problemas derivados de la coexistencia son el flujo de genes producido por la polinización cruzada, la germinación de semillas del año anterior y la mezcla de semillas en la cosecha, por compartir la misma maquinaria en la recolección, el transporte y el almacenamiento. De estos factores, el que más preocupa a los agricultores es el hecho de que el polen transgénico pueda fecundar las plantas de los campos vecinos, ya que es un factor difícilmente controlable (MESSEGUER y MELÉ, 2006). No obstante, los estudios científicos demuestran que la polinización cruzada se produce sobre todo en los bordes de los campos y que bastan 25 m de separación de los cultivos transgénicos para impedir la (BROOKES *et al.*, 2004; MELÉ *et al.*, 2004; MESSEGUER y MELÉ, 2006). Además, dado que las variedades comerciales de maíz resistentes a insectos son heterocigóticas para el carácter Bt (tienen el gen de resistencia sólo en uno de los cromosomas de los dos que controlan la herencia), solamente la mitad de los granos de polen que producen son transgénicos, lo que también ayuda a limitar el posible flujo de genes a campos vecinos no transgénicos. De todas formas se va a aprobar por la Unión Europea la necesidad de separar los cultivos transgénicos de los convencionales mediante barreras de 200 m. de cultivos no OMG.

La idea de coexistencia no es nueva en la agricultura, ya que en muchas zonas –e incluso en la misma finca–, tradicionalmente se han cultivado variedades cuyo destino era diferente (maíz para consumo humano o para producción de almidón; trigo harinero para producción de pan o trigo duro para elaboración de pastas; cebada para producción de cerveza o para alimentación animal, etc.) y en las que había que garantizar un alto grado de pureza en el producto final. De hecho, en los últimos 10 años, los agricultores españoles han cultivado 97.326 hectáreas de maíz Bt resistente

al taladro, lo que supone el 26.5% del total nacional (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2012). En este tiempo no se ha producido ninguna denuncia por problemas debidos a la coexistencia. Además, el 93% de los agricultores españoles declaran que volvería a cultivar maíz transgénico (<http://fundacion-antama.org/la-adopcion-por-los-agricultores-de-los-cultivos-modificados-geneticamente-alcanza-un-record-historico-en-espana-con-casi-100-000%2%A0-hectareas>). Por tanto, una buena comunicación entre los agricultores vecinos, así como otras prácticas de conducta, pueden garantizar una coexistencia sin problemas, mediante un acuerdo para separar cultivos del mismo tipo o emplear variedades con diferente época de floración (ETSIA, 2006).

VI. PRESIÓN SELECTIVA DEL CULTIVO TRANSGÉNICO SOBRE LOS PATÓGENOS A CONTROLAR

Otra de las objeciones que oponen las asociaciones ecologistas al uso de transgénicos, es que la plaga o patógeno puede evolucionar y la resistencia dejar de ser efectiva con el paso del tiempo. Esta situación no es exclusiva de las plantas transgénicas resistentes a insectos o herbicidas, sino que es exactamente igual a la que plantean los insecticidas o fungicidas químicos tradicionalmente usados en agricultura. En los OMG, se ha estudiado exhaustivamente para las toxinas Bt, donde los insectos diana son los taladros del maíz, *Sesamia nonagrioides* y *Ostrinia nubilalis*, encontrándose que tras más de 12 años de cultivos de maíz resistente al taladro no se ha registrado ningún aumento de resistencia a las toxinas Bt ni en España (CASTAÑERA *et al.*, 2010; MARM, 2010), ni en el resto de países que lo cultivan (PARDO-LÓPEZ *et al.*, 2013).

De todas formas, para evitar un posible aumento de la resistencia al Bt con disminución de su actividad insecticida, y en caso necesario, se han desarrollado una serie de estrategias, como un alto grado de expresión de las toxinas Bt en la planta transgénica mediante acumulación de varios genes para diferentes toxinas Bt (PARDO-LÓPEZ *et al.*, 2013), la modificación genética de la estructura proteica de la propia toxina Bt (TABASHNIK *et al.*, 2011), o el establecimiento de campos adyacentes no transgénicos (refugios). Estos refugios actúan como reservas para poblaciones de la plaga susceptibles a las toxinas que, al cruzarse con los insectos resistentes, originan una descendencia susceptible, limitando así que progrese la resistencia al Bt en la población de insectos diana (MACINTOSH, 2010; MARM, 2010).

En cualquier caso, como se ha comentado, éste también es un problema de cualquier insecticida químico, no exclusivamente de los transgénicos. De hecho, desde la publicación del famoso libro de Rachel Carson en 1962, se ha documentado la aparición de resistencia a diversos insecticidas hasta en 450 especies de artrópodos, la mayoría insectos (HECKEL, 2012). En agri-

cultura, tradicionalmente este tipo de problemas, incluyendo la resistencia a herbicidas, se han solucionado cambiando de insecticida o herbicida periódicamente y con una adecuada rotación de cultivos, para limitar la población de malas hierbas o insectos patógenos de un año a otro.

VII. EFECTOS SECUNDARIOS POTENCIALES SOBRE ORGANISMOS NO PERJUDICIALES

En 1999 un estudio realizado en condiciones de laboratorio y publicado en la revista *Nature* (LOSEY *et al.*, 1999), tras haber sido rechazado previamente por la revista *Science* por problemas metodológicos y falta de ensayos de campo (SHELTON y SEARS, 2001), concluía que el polen de maíz Bt podía matar a las orugas de la mariposa monarca de EEUU. Inmediatamente, las asociaciones ecologistas se hicieron eco de esta publicación y comenzó una nueva oleada de críticas en contra de los cultivos genéticamente modificados. Objetivamente, y dado que el estudio se realizó bajo condiciones controladas de laboratorio, las cuestiones a contestar son si el polen de maíz Bt mata a las orugas de monarca en el campo; y si es así, cuál es la probabilidad de que las larvas monarca estén expuestas al supuesto “polen letal” en condiciones naturales. Teniendo en cuenta que el maíz produce polen sólo durante 2 semanas en el verano, que la mariposa monarca produce varias generaciones de orugas al año, que la mayor parte del polen producido cae dentro del campo de maíz o en sus cercanías, sin llegar a los arbustos donde se alimentan la orugas y que la lluvia lava gran cantidad de polen de las hojas, numerosos estudios científicos en condiciones de campo han concluido que el uso de toxinas Bt supone un riesgo bastante bajo para la supervivencia de la mariposa monarca y otros insectos no diana (ROMEIS *et al.*, 2006; SANVIDO *et al.*, 2007; MARVIER *et al.*, 2007; PERRY *et al.*, 2012), sobre todo en comparación con la deforestación de sus hábitats de invierno en México y el uso de insecticidas químicos en esas zonas (REUTERS, 2001). De hecho, en los EE UU de Norteamérica cada año se cultivan más hectáreas con maíz Bt y la población de mariposas monarca sigue creciendo progresivamente. Esta mariposa, incluso, ha cruzado el océano Atlántico y se ha instalado permanentemente en la zona del estrecho de Gibraltar, donde se la puede observar con cierta frecuencia desde 1977 (FERNÁNDEZ HAEGER y JORDANO BARBUDO, 2009).

Actualmente, los cultivos Bt son más específicos y tienen menos efectos secundarios sobre los organismos no perseguidos que la mayoría de los insecticidas químicos, por lo que en varios estudios se constata que los insectos no objetivo incluso abundan más en los campos de maíz Bt que en los campos no transgénicos controlados con insecticidas sintéticos (ROMEIS *et al.*, 2006; MARVIER *et al.*, 2007). No obstante, no hay que olvidar que debido a la estructura compleja de los ecosistemas agrícolas y sus múlti-

ples interacciones, es necesario definir procedimientos de evaluación de posibles riesgos y realizar planes de seguimiento cada vez que un nuevo OMG es autorizado para su cultivo en Europa (RODA, 2006; EFSA, 2010).

VIII. PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD

El problema de la biodiversidad hay que considerarlo a tres niveles: *Biodiversidad genética*, es decir, la variedad de genes contenidos en individuos, poblaciones, especies, etc.; *biodiversidad de especies* o número y variedad de especies que se pueden encontrar, por ejemplo, en un área determinada, agrícola o silvestre; y *biodiversidad de ecosistemas* o número y abundancia relativa de hábitats, comunidades bióticas y procesos ecológicos en una región, natural o modificada por el hombre.

Con respecto a la disminución de biodiversidad genética, las variedades transgénicas incorporan uno o dos genes a una variedad ya existente, lo que en todo caso, supondría un aumento de la diversidad genética de la especie. En el caso de la biodiversidad de ecosistemas influye mucho más la deforestación, el cambio climático y la rapacidad humana, que la utilización de transgénicos. Por ello nos centraremos en la pérdida de biodiversidad agrícola, otra de las fábulas más extendidas y según la cual los cultivos transgénicos están provocando la desaparición de miles de variedades agrícolas tradicionales, a las que se les atribuyen unas singulares virtudes nutritivas y organolépticas, y cuya pérdida resultará catastrófica para la seguridad alimentaria de la humanidad. La realidad es que desde los orígenes de la agricultura hace ya más de 12.000 años, han sido los propios agricultores los que han ido erosionando la biodiversidad agrícola al cultivar las variedades más productivas y mejor adaptadas a sus necesidades, desechando las menos eficientes. La agricultura en sí misma es una actividad que conlleva pérdida de biodiversidad desde su origen, ya que la domesticación sólo multiplica algunas poblaciones de la especie y favorece el monocultivo de las variedades más productivas. Por tanto, la reducción de biodiversidad agrícola no es algo nuevo ni es atribuible a la biotecnología. Con los transgénicos lo único que se ha cambiado es el método de obtención de esa planta, que ahora se realiza en el laboratorio de una forma controlada y antes se hacía de forma aleatoria en el campo. Además, el que ahora no se cultive una variedad ancestral no significa que haya desaparecido, sino que, y gracias también a la Biotecnología, para evitar la pérdida de variedades tradicionales se conservan sus semillas en bancos de germoplasma (FAO, 2010).

IX. LOS OMGS FAVORECEN EL MONOCULTIVO

Otra de las críticas medioambientales a los OMGs es que han desencadenado el desarrollo de los grandes monocultivos, con el problema ambiental y social que conllevan. Efectivamente, el monocultivo, principalmente de soja transgénica resistente al glifosato, se ha desarrollado de forma acelerada en determinados países fuera de la Unión Europea, sobre todo EEUU, Brasil, Argentina y Canadá. Aunque sin duda la rotación adecuada de cultivos es una de las mejores prácticas para una agricultura sostenible (que, por otra parte, no es incompatible con las plantas transgénicas), es importante separar los efectos de la tecnología de las decisiones empresariales o de las estrategias de planificación en el ámbito público. En último extremo, la expansión del monocultivo es una prueba más del éxito de los transgénicos, ya que no ha habido ninguna innovación tecnológica en la historia de la agricultura que haya sido aceptada tan rápidamente y con mayor éxito por los agricultores, que las plantas transgénicas. Ahora bien, como en cualquier otro sector de la actividad económica, industrial o agrícola, corresponde al ámbito privado y, en último término al público, desarrollar las medidas para evitar repercusiones no deseables sobre el medioambiente. Pero no se puede culpar a la biotecnología por ello, de la misma manera que no se responsabiliza a la industria del petróleo porque se hayan construido autopistas en áreas de elevado valor medioambiental o paisajístico.

X. CONCLUSIONES

Desde la evidencia científica, el riesgo de contaminación génica es mínimo, aunque puede producirse en casos muy puntuales. Por ello, la liberación de OMGs al medio ambiente requiere siempre la necesidad de evaluar cada caso en particular. La legislación de la UE establece planes de seguimiento para cada modificación genética, junto a un plan general de prevención para el caso de que surgiera algún riesgo para el medio ambiente. Sin embargo, no se valora con la misma alarma social la introducción incontrolada de especies exóticas mucho más peligrosas para el ambiente, como el mejillón cebrá, la perca del Nilo, el cangrejo rojo americano, la llamada alga asesina o *Caulerpa taxifolia*, el ailanto chino, el jacinto de agua, el siluro, el picudo rojo, y diversas especies de aves, roedores y reptiles (GEIB, 2006).

La biotecnología representa simplemente la domesticación del gen, proceso que completa el de domesticación de especies y de variedades que permitió el nacimiento de la Agricultura. También es cierto que sólo con la Biotecnología no se garantiza una utilización sostenible de los recursos, una agricultura más respetuosa con el medio ambiente y el abastecimiento

de alimentos a los países en desarrollo (que depende más de condicionamientos políticos y económicos, que de factores tecnológicos). Sin embargo, es indudable que esta nueva tecnología es imprescindible para afrontar los retos agrícolas del futuro.

La Biotecnología, como toda tecnología (incluida la nuclear) no es buena ni mala en sí misma. Su impacto positivo o negativo va a depender del uso que hagamos de ella. Ahora bien, lo que sí es indudable es que constituye una herramienta imprescindible para el avance de la Humanidad en el siglo XXI y los gobiernos europeos no deberían permitirse el lujo de poner tantas restricciones a la investigación y al desarrollo de organismos transgénicos beneficiosos, bajo pena de perder el liderazgo que siempre han tenido en temas de Biotecnología y volver a caer bajo la dependencia tecnológica, no ya de EEUU o Canadá, sino de países como China, India o Argentina, mucho más avanzados que los europeos en investigación y desarrollo de transgénicos.

XI BIBLIOGRAFÍA

- BROOKES, G.; BARFOOT, P.; MELÉ, E.; MESSEGUER, J.; BÉNÉTRIX, F.; BLOC., D.; FOUILLASAR, X.; FABIÉ., A.; POEYDOMERGE, C. 2004. Genetically modified maize: Pollen movement and crop coexistence. (<http://www.pgeconomics.co.uk>); CASTAÑERA, P.; ORTEGO, F.; HERNÁNDEZ-CRESPO, P.; FARINÓS, G.P.; ALBAJES, R.; EIZAGUIRRE ALTUNA, M.; LÓPEZ, C.; LUMBIERRES, B.; PONS, X. 2010. El maíz Bt en España: Experiencia tras 12 años de cultivo. *Phytoma* 219: 64-70; Clive James. 2011. Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2011. (<http://www.isaaa.org/resources/publications/briefs/43/default.asp>); EFSA. 2010. Scientific Opinion on the assessment of potential impacts of genetically modified plants on non-target organisms. *EFSA Journal*, 8, 1877. (<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/1877.pdf>); ETSIA. 2006. La coexistencia es posible. Retos de futuro tras ocho años de convivencia. Escuela Técnica Superior de Ingeniero Agrónomos, Madrid, 44 p; FAO. 2010. The State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture, Roma, 372 p. (<http://www.fao.org/docrep/013/i1500e/i1500e.pdf>); FERNÁNDEZ HAEGER, J.; JORDANO BARBUDO, D. 2009. La mariposa monarca *Danaus plexippus* (L., 1758) en el Estrecho de Gibraltar (*Lepidoptera: Danaidae*). *SHILAP Revista de Lepidopterología*, vol. 37: 421-438; GARCÍA OLMEDO, F. 2009. El ingenio y el hambre. De la revolución agrícola a la transgénica. Ed. Crítica, Barcelona, 288 p; GEIB. 2006. TOP 20: Las 20 especies exóticas invasoras más dañinas presentes en España. GEIB, Serie Técnica n.º 2. pp.: 116; HECKEL, D. G. 2012. Insecticide resistance after Silent Spring. *Science* 337: 1613-1614; LOSEY, J.E.; RAYOR, L.S.; CARTER, M.E. 1999. Transgenic pollen harms monarch larvae. *Nature* 399: 214; MACINTOSH, S.C. 2010. Managing the risk of insect resistance to transgenic insect control traits: practical approaches in local environments. *Pest Management Science* 66: 100-106; MANNION, A. M.; MORSE, S. 2012. Biotechnology in agriculture: Agronomic and environmental considerations and reflections based on 15 years of GM crops. *Progress in Physical Geography* 36: 747-763; MARM. 2010. Planes de seguimiento ambiental del cultivo de maíz

modificado genéticamente en España. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Secretaría General Técnica, Centro de publicaciones, Madrid, 72 p. (<http://fundacion-antama.org/wp-content/uploads/2011/07/20110711-Estudios-MARM.pdf>); MARVIER, M.; MCCREEDY, C.; REGETZ, J.; KAREIVA, P. 2007. A Meta-Analysis of Effects of Bt Cotton and Maize on Nontarget Invertebrates. *Science* 316, 1475-1477; MELÉ, E.; BALLESTER, J.; PEÑAS, G.; FOLCH, I.; OLIVAR, J.; ALCALDE, E.; MESSEGER, J. 2004. First results of coexistence study. *Euro/Biotech/News* 3:8; MESSEGUER, J. y MELÉ, E. 2006. Coexistencia de cultivos tradicionales y genéticamente modificados. En: *Organismos Modificados Genéticamente*, E. MUÑOZ (ed.), pp. 267-279, Editorial Ephemera, Madrid; PARDO-LÓPEZ, L.; SOBERON, M.; BRAVO, A. 2013. Bacillus thuringiensis insecticidal three-domain Cry toxins: mode of action, insect resistance and consequences for crop protection. *FEMS Microbiology Reviews* 37: 3-22; PERRY, J.N.; DEVOS, Y.; ARPAIA, S.; BARTSCH, D.; EHLERT, C.; GATHMANN, A.; HAILS, R.S.; HENDRIKSEN, N.B.; KISS, J.; MESSEAN, A.; MESTDAGH, S.; NEEMANN, G.; NUTI, M.; SWEET, J.B.; TEBBE, C.C. 2012. Estimating the effects of Cry1F Bt-maize pollen on non-target Lepidoptera using a mathematical model of exposure. *Journal of Applied Ecology* 49: 29-37; REUTERS. 2001. Loggers said to wipe out millions of monarchs. (<http://www.nytimes.com/2001/03/08/science/08reuters-butterflies.html>); RODA, L. 2006. Evaluación del riesgo de los Organismos Modificados Genéticamente y planes de seguimiento. En: *Organismos Modificados Genéticamente*, E. MUÑOZ (ed.), pp. 175-190, Editorial Ephemera, Madrid; ROMEIS J., MEISSELE M., BIGLER F. 2006. Transgenic crops expressing Bacillus thuringiensis toxins and biological control. *Nature Biotechnology* 24: 63-71; SANVIDO O.; ROMEIS, J.; BIGLER, F. 2007. Ecological impacts of genetically modified crops: ten years of field research and commercial cultivation. *Advances in Biochemical Engineering / Biotechnology* 107: 235-278; SHELTON, A.M.; SEARS, K. 2001. The monarch butterfly controversy: scientific interpretations of a phenomenon. *Plant Journal* 27: 483-488; TABASHNIK, B.E; HUANG, M.; GHIMIRE, N.; LEONARD, B.R.; SIEGFRIED, B.D.; RANGASAMY, M.; YIDONG, Y.Y.; WU, Y.D.; GAHAN, L.J., HECKEL, D.G.; BRAVO, A.; SOBERÓN, M. 2011. Efficacy of genetically modified Bt toxins against insects with different genetic mechanisms of resistance. *Nature Biotechnology* 29: 1128-1131.

RESUMEN:

Se define qué es una planta transgénica, precisándose que la mayoría de las plantas cultivadas han sido modificadas genéticamente en mayor o menor medida durante su proceso de domesticación. Actualmente se cultivan en el mundo más de 160 millones de Has de cultivos transgénicos, principalmente de soja resistente a herbicidas, y de maíz y algodón con resistencia a insectos. Aunque el posible escape de genes al medio ambiente está muy limitado por condicionamientos geográficos, biológicos y reproductivos de los cultivos transgénicos, la Unión Europea impone estrictos sistemas de vigilancia, seguimiento y prevención para controlar y evitar esa posible eventualidad. Igualmente, con una buena comunicación y prácticas de cultivo entre agricultores vecinos, puede garantizarse una adecuada coexistencia entre cultivos transgénicos y convencionales. Los estudios científicos demuestran que tras 17 años de cultivos transgénicos no se han manifestado efectos perjudiciales sobre insectos no perseguidos ni tampoco ningún aumento de resistencia en los insectos diana. En cualquier caso, éste sería también un problema de cualquier insecticida químico, no exclusivamente de los cultivos transgénicos. Igual ocurre con la actual reducción de biodiversidad agrícola, fenómeno que no es algo nuevo ni atribuible a la Biotecnología, sino que es consecuencia del progreso de la agricultura, al ir sustituyendo las variedades antiguas menos productivas por

variedades nuevas mejor adaptadas, sean o no transgénicas. Desde la evidencia científica el riesgo de escape de genes desde cultivos transgénicos es mínimo y está muy controlado por la legislación vigente. Sin embargo, no se valora con la misma alarma social la introducción incontrolada de especies exóticas mucho más peligrosas y que ya están causando considerables perjuicios en el ambiente.

Palabras clave: cultivos transgénicos, resistencia a herbicidas, genes Bt, escape de genes, coexistencia, biodiversidad agrícola.

ABSTRACT:

It is defined what is a transgenic plant, specifying that most crop plants has been genetically modified to a greater or lesser extent during the process of its domestication. Currently are grown in the world more than 160 million hectares of transgenic crops, mainly herbicide-resistant soybean and corn and cotton with insect resistance. Although the possible escape of genes to the environment is very limited by geographical, biological and reproductive circumstances of the transgenic crops, the European Union imposes strict surveillance, monitoring and prevention measures to control and avoid this eventuality. Similarly, with a good communication and agricultural practices between neighboring farmers an adequate coexistence between transgenic and conventional crops can be guaranteed. Scientific studies show that after 17 years of transgenic crops no injurious effect have appeared on non-target insects nor any increased resistance in the target insects have been observed. In any case, it would also be a problem of any chemical insecticide, not only of transgenic crops. Similarly, the modern decrease in agricultural biodiversity is not a new phenomenon nor attributable to the Biotechnology, but it is a consequence of the same progress in agriculture that replaces older less productive varieties by new varieties better adapted, being or not transgenic. From the scientific evidence the risk of gene escape from transgenic crops is minimal and is strongly controlled by current legislation. However, the uncontrolled introduction of exotic species much more dangerous and that are already causing considerable damage to the environment it is not evaluated with the same degree of social alarm.

Key words: transgenic crops, herbicide resistance, Bt genes, gene escape, coexistence, agricultural biodiversity.