
■ Uso e impacto de los cultivos transgénicos

Ana Gabriela Ramírez Flores¹
Isabel Cristina Marín Arriola
María del Rocío Palomera Palacios

Resumen

Con la introducción de la técnica de ADN recombinante, la transferencia de genes entre organismos de diferentes especies que pertenecen a distintos géneros, familias y reinos abrió la posibilidad de obtener plantas genéticamente modificadas para ser utilizadas en los cultivos, con ventajas sobre las plantas silvestres. La adopción y liberación de cultivos transgénicos y la comercialización de sus productos han provocado debates a nivel internacional sobre los impactos de su utilización. Este artículo ofrece un panorama general de los usos e impactos socioeconómico, ambiental y sobre la salud que han sido discutidos por la comunidad científica, grupos ambientalistas y la población en general.

Palabras clave: transgénicos, organismos genéticamente modificados, cultivos transgénicos, biotecnología, plantas transgénicas, impacto ambiental, impacto socioeconómico, impacto sobre la salud.

Abstract

With the introduction of the recombinant DNA technique, the transference of genes between organisms of different species that belong to different genre, families and kingdoms opened the possibility of obtaining plants genetically

1. Las autoras son profesoras investigadoras de la Universidad de Guadalajara, México. Cualquier comentario relacionado con este trabajo se recibirá en: gabriela_ramirez@valles.udg.mx, cristinam@cusur.udg.mx y rocíop@cusur.udg.mx.

modified to be used in cultures, with advantages over wild plants. The adoption and liberation of transgenic cultures and the commercialization of their products have caused debates at international level on the impacts of their use. This article offers a general view of the uses and socioeconomic, environmental and health impacts, that have been discussed by the scientific community, green groups and the general population.

Key words: transgenic, genetically modified organisms, transgenic cultures, transgenic products, biotechnology, transgenic plants, environmental impact, socioeconomic impact, health impact.

Introducción

De acuerdo con los datos disponibles, en el año 2000 existían 800 millones de personas (18% de la población del mundo en vías de desarrollo) sin acceso a los alimentos necesarios para satisfacer sus necesidades (Royal Society of London et al., 2000). Si se considera que para el año 2030 la población mundial será de 8,000 millones de personas, 2,000 millones más que los existentes en el año 2000, es claro que enfrentaremos una serie de retos entre los cuales se encuentra resolver el problema del hambre. Una de las estrategias para afrontar este problema es hacer más eficiente la producción agrícola (Royal Society of London et al., 2000).

Para lograr el crecimiento en la producción de alimentos básicos sin aumentar la superficie terrestre cultivada se requiere aumentar su rendimiento por hectárea, es aquí donde los cultivos transgénicos se vislumbran como una de las alternativas viables (Royal Society of London et al., 2000).

Las plantas transgénicas son organismos genéticamente modificados (OGM) por la introducción de uno o más genes que suprimen o modifican su información genética, con el fin de conferirles una o varias propiedades que le otorgan una ventaja que en su estado natural no poseen (Schaper y Parada, 2001).

La generación de variedades de plantas ha sido una práctica empírica del hombre desde el surgimiento de la agricultura. Se calcula que los humanos comenzaron a domesticar y cultivar plantas para su subsistencia desde el año 8000 a de C. (Azevedo y Araujo, 2003). Por muchos años se realizó la selección de aquellos organismos con ventajas sobre sus antecesores, surgidas ya sea por cambios espontáneos en su material genético (mutación) o por cruza azarosas entre organismos filogenéticamente relacionados. No fue sino hasta inicios del siglo xx, con el descubrimiento de los resultados de los expe-

rimentos realizados por Gregorio Mendel, cuando se tuvieron los avances cuantitativos y cualitativos más importantes en la producción de organismos vegetales más eficientes para ser utilizados como alimentos, al aplicar los principios genéticos a plantas, animales y microorganismos (Azevedo y Araujo, 2003). A partir de entonces hubo un creciente conocimiento de la estructura y funcionamiento del material genético y de las leyes que rigen la expresión de los genes. Estos conocimientos permitieron, por un lado, realizar cruza planificadas entre especies cada vez menos relacionadas para obtener híbridos no encontrados en la naturaleza. Por otro lado, los conocimientos adquiridos permitieron utilizar productos químicos y radiaciones de una manera más dirigida para incrementar aún más la variabilidad genética y con esto aumentar la probabilidad de obtener organismos con características favorables para su posterior selección (Azevedo y Araujo, 2003; World Health Organization, 2005). Con la introducción de las técnicas de ADN recombinante e ingeniería genética se dispuso de nuevos procedimientos para transferir genes o grupos de genes entre individuos para generar OGM. Estas técnicas permiten agilizar y dirigir la transferencia de genes, estando en posibilidad de elegir qué genes se transmiten, en qué parte del material genético de la planta a mejorar se insertan y de realizar transferencia de genes entre individuos de especies diferentes de un mismo género e incluso entre especies de diferentes familias o reinos para, como se mencionó, otorgarles características que le confieran una ventaja sobre su contraparte silvestre (Azevedo y Araujo, 2003).

Existe una primera generación de OGM cuyo objetivo es desarrollar propiedades en los cultivos que tienden a beneficiar al productor agrícola. Entre estas propiedades se encuentran la tolerancia a herbicidas, la resistencia a insectos, hongos, bacterias, virus y al frío, la modificación de la estructura de las plantas tal como la altura, la modificación de alguna etapa de su desarrollo como la producción temprana o tardía de semillas y la tolerancia al estrés abiótico como la salinidad y la sequía. Un ejemplo de plantas transgénicas de primera generación es el maíz Bt que produce toxinas derivadas de la bacteria *Bacillus thuringiensis* lo que le otorga resistencia a algunos insectos (Schaper y Parada, 2001).

La segunda generación de OGM que está iniciando su etapa de comercialización y con muy pocas variedades, tiene como objetivo beneficiar al consumidor final incorporando modificaciones en las características organolépticas y propiedades nutricionales del producto. Un ejemplo de plantas transgénicas de segunda generación es la producción de trigo con alta proporción de ácido fólico, dirigido a la prevención de defectos neurales prenatales (Schaper y Parada, 2001).

Se ha propuesto una tercera generación de OGM, en una etapa muy temprana de desarrollo, que tienen como objetivo utilizar las plantas como “fábricas” para la producción de agentes farmacéuticos o como vehículos para la producción de vacunas (Schaper y Parada, 2001; Balbás y González, 2005). La vinblastina y la vincristina son ejemplos de productos de este tipo de OGM. Estos son medicamentos utilizados en el tratamiento del linfoma de Hodgking. Ambos se extraen de la vincapervinca de Madagascar, que las produce en muy pequeñas concentraciones y junto con otros cerca de 100 compuestos muy similares, lo que hace difícil su extracción. Actualmente se está investigando la posibilidad de que por medio de una planta transgénica se produzcan estos compuestos a concentraciones más altas en plantas que sean más fáciles de cultivar que la vincapervinca (Schaper y Parada, 2001).

El desarrollo científico y tecnológico prosigue su búsqueda de variedades de plantas con ventajas agrícolas, evidenciada por el aumento de publicaciones relacionadas con la producción de cultivos transgénicos que ponen a disposición de la comunidad científica y de la población en general, información de los avances realizados (Vain, 2006). Esta información y la producción y venta de alimentos surgidos a partir de cultivos transgénicos ha generado una controversia mundial acerca de sus potenciales usos e impactos. Los opositores a la tecnología de productos transgénicos aseguran que son productos no naturales, inseguros —llamados *frankenfoods*— que producen daños no sólo en la salud humana y animal, sino también en los ecosistemas y que tienen un impacto socioeconómico negativo. También les preocupa que el uso de cultivos transgénicos en amplia escala conlleve una serie de riesgos que amenazan la sustentabilidad de la agricultura, sobre todo por que la competencia por ganar mercados está resultando en liberaciones aceleradas de cultivos transgénicos, sin la apropiada consideración por los impactos que éstos pudieran ocasionar a largo plazo (Schaper y Parada, 2001). En cambio, sus defensores consideran que son una respuesta científica, planeada y selectiva al uso excesivo de plaguicidas y agroquímicos en general y una solución al hambre en muchos países (Schaper y Parada, 2001; Yaya Lancheros, 2006).

En México, la utilización de campos de prueba de cultivos transgénicos inició en 1988 y fue en julio de 1999 que se permitió la liberación de material transgénico. En los últimos 10 años se han liberado al menos siete cultivos de primera generación: papa, jitomate, soya, alfalfa, algodón, maíz y canola (tabla 1) (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2005).

Tabla 1. Cultivos liberados en México de 1995 a 2005

<i>Cultivo</i>	<i>Característica genética</i>	<i>Empresa</i>
Jitomate	Maduración retardada	Calgene, SA de CV DNA Plan Technology Co.
Papa	Resistente a la catarinita	Monsanto Comercial, SA de CV
	Resistente al escarabajo colorado	Monsanto Comercial, SA de CV
	Resistente a los virus del enrollamiento de la hoja y al virus de la papa	Monsanto Comercial, SA de CV
Algodón	Resistente a lepidópteros	Monsanto Comercial, SA de CV Dow AgroScience SA de CV
	Resistente al herbicida glifosato	Monsanto Comercial, SA de CV
	Resistente al bromoxinil	Calgene, SA de CV
	Tolerante al herbicida glufosinato de amonio	Híbridos Pioneer de México, SA de CV
Canola	Resistente al herbicida glifosato	Monsanto Comercial, SA de CV AgrEvo Mexicana, SA de CV
	Resistente al glufosinato de amonio	Aventis CropScience México, SA de CV
	Esterilidad masculina y fertilidad reconstituida	Bayer de México, SA de CV
	Tolerante al herbicida glufosinato de amonio	Bayer de México, SA de CV
Soya	Tolerante al herbicida glufosinato de amonio	Monsanto Comercial, SA de CV AgrEvo Mexicana, SA de CV
Maíz	Tolerante al herbicida glifosato	Monsanto Comercial, SA de CV
	Resistente a lepidópteros	Monsanto Comercial, SA de CV Híbridos Pioneer de México, SA de CV
	Resistente al glufosinato de amonio	Híbridos Pioneer de México, SA de CV
	Resistente al gusano de la raíz (<i>Diabrotica</i> spp.)	Monsanto Comercial, SA de CV Híbridos Pioneer de México, SA de CV
	Resistente a kanamicina	Monsanto Comercial, SA de CV
Alfalfa	Tolerancia al herbicida glifosato	Monsanto Comercial, SA de CV

Fuente: Modificado de Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (2005).

Los estudios realizados en los últimos años han demostrado que en México no se ha logrado una total aceptación de los cultivos manipulados genéticamente. Como era de esperarse, los sectores favorecidos con su implementación —como los empresarios agrícolas y las empresas transnacionales con la capacidad de integrarse en las diversas actividades en torno a la producción de cultivos transgénicos— son los que expresan una mayor aceptación. Mientras que las organizaciones ecologistas, ambientalistas y los consumidores son los sectores que manifiestan una menor aceptación. Además, la aceptación también ha dependido del producto en cuestión. Hay una mayor aceptación cuando se trata de productos de exportación sembrados por las grandes empresas transnacionales que cuando se trata de un producto básico en la cul-

tura mexicana como el maíz, del cual México es su lugar de origen y de cuya producción viven miles de pequeños productores (Sánchez-Gutiérrez, 2007; Aerni, 2004).

La controversia surgida está principalmente en función de los posibles impactos culturales, sobre la biodiversidad, sobre la desventaja en la que se pueden poner los productores mexicanos, pero principalmente en la inseguridad de consumir productos provenientes de cultivos transgénicos. Quizá el problema principal sea una falta de conocimiento por parte de los diversos sectores, principalmente de los consumidores, quienes no reciben información accesible necesaria cuando se trata una novedad tecnológica poco entendida por la mayoría de la población.

Este artículo presenta el uso e impactos socioeconómico, ambiental y sobre la salud de los cultivos transgénicos. Enfocándose en aquellos que han salido a la luz pública en todo el mundo, por haber sido discutidos por la comunidad científica, los grupos ambientalistas y la población en general.

Impacto socioeconómico

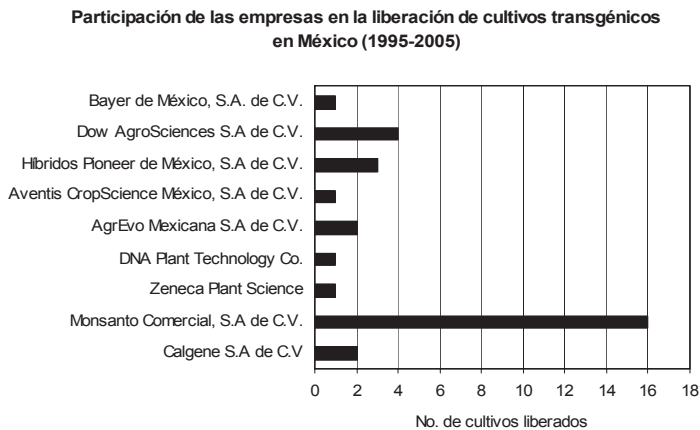
Según las estimaciones realizadas, cerca de 650 millones de las personas más pobres del mundo viven en las áreas rurales de los países en vías de desarrollo, donde la producción local de alimentos es una de las principales actividades económicas. El reto actual en estas comunidades implica no sólo un aumento en la tasa de producción sino también mejoras en la distribución de los alimentos y la generación de empleos productivos (Royal Society of London et al., 2000).

A pesar de los éxitos obtenidos en el pasado, la tasa de producción de alimentos ha ido en retroceso en los últimos años: en la década de los setenta era de 3% anual, mientras que para la década de los noventa era de 1% (Conway y Toennissen, 1999). Actualmente se siguen registrando graves pérdidas agrícolas debido a factores bióticos como plagas y enfermedades, y factores abióticos como la sequía y la salinización de las tierras (Royal Society of London, 2000). Por lo anterior, los cultivos transgénicos podrían considerarse la mejor alternativa para enfrentar estos problemas pero desde el punto de vista socioeconómico no ha sido así, al menos no para los pequeños productores.

Debido a que durante la última década el presupuesto público destinado a la investigación y el desarrollo tecnológico, particularmente de la agricultura, ha sufrido una baja considerable, los adelantos tecnológicos más recientes se encuentran en manos del sector privado para quienes el objetivo es aumentar

sus ingresos. Son cinco las empresas biotecnológicas que controlan más de 95% de las patentes de transferencia de genes: Monsanto tiene 80% del mercado de las plantas transgénicas, seguida por Aventis, Syngenta (antes Novartis), BASF y DuPont, mientras que 97% de todas las patentes a nivel mundial están en manos de los países industrializados (Schaper y Parada, 2001). Es la misma empresa Monsanto quien tiene el predominio en la liberación de cultivos transgénicos en México (figura 1). Esto refleja cómo los cultivos transgénicos, más que buscar respuestas a las necesidades socioeconómicas inherentes al pequeño productor o al sector agrícola en general, han estado orientados a aumentar los rendimientos y facilitar la labor sólo de quienes están en condiciones de incorporar las nuevas tecnologías (Schaper y Parada, 2001).

Figura 1. Empresas que poseen el control en la liberación de cultivos transgénicos en México

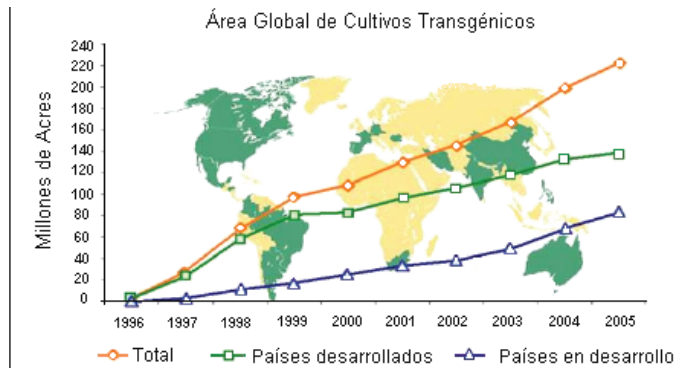


Fuente: <http://www.cofepris.gob.mx/pyp/biotec/OMG.pdf>.

De 1996 a 2005 hubo un incremento significativo en el área dedicada a cultivos transgénicos (figura 2). De aproximadamente 2.8 millones de hectáreas localizadas en 6 países, aumentó a 81 millones de hectáreas en 18 países (World Health Organization, 2005; Traxler, 2004). Este aumento se ha dado principalmente en aquellos países donde hay aceptación comercial de los OGM (Traxler, 2004). Seis países (Estados Unidos, Argentina, Canadá, Brasil, China y Sudáfrica), cuatro cultivos (soya, algodón, maíz y canola) y dos mejoras agrícolas (tolerancia a herbicidas y resistencia a insectos) explican más de 99% del área transgénica mundial (Traxler, 2004). En las áreas cultivadas

con semillas transgénicas el número de variedades es reducido, lo que genera riesgos para los pequeños productores ya que la mayoría de las variedades modernas se desarrollan pobremente en campos poco uniformes, que es la característica más común de las pequeñas parcelas (Schaper y Parada, 2001).

Figura 2. Área global de cultivos transgénicos de 1996 a 2005



Fuente: Modificado de Yaya Lancheros, 2006.

Así, el impacto socioeconómico de los cultivos transgénicos más profundamente estudiado se relaciona con el desplazamiento y marginación de los pequeños productores que no podrán competir con los productores de alimentos transgénicos, lo que aumentará la diferencia de clases en este grupo. En México, los altos niveles de pobreza y la falta de oportunidades en las zonas rurales ha provocado una creciente migración a los centros urbanos del país y a los Estados Unidos principalmente (tabla 2), cambiando así la base de su economía, de las actividades agrícolas a pequeña escala por la industria manufacturera y actividades de prestación de servicios, y se teme que este fenómeno se esté recrudeciendo con la introducción de cultivos transgénicos (Schaper y Parada, 2001; Commission for Environmental Cooperation, 2004).

Tabla 2. Población urbana y rural en México (miles de habitantes)

Año	Total	Urbana	Rural
1950	25,791	7,453 (21.9%)	18,338 (71.1%)
1970	48,996	23,812 (48.6%)	25,182 (51.4%)
1990	81,249	57,930 (71.3%)	16,625 (28.7%)
1995	91,158	67,000 (73.5%)	24,158 (26.5%)

Fuente: Modificado de Massieu y Lechuga (2002).

A diferencia de los pequeños productores de los países en vías de desarrollo como México, los estudios realizados en los países desarrollados señalan que los beneficios del uso de cultivos transgénicos, desde el punto de vista del productor, presentan diferencias importantes entre las diversas zonas productivas, dependiendo de factores climáticos, incidencia de plagas y malezas e irrigación, entre otros. Esto hace que los cultivos transgénicos resulten más atractivos y eficientes para ciertas zonas productivas que para otras. Mientras mayor es la incidencia de plagas y malezas, mayores serán también los beneficios obtenidos de los cultivos transgénicos. A esto se agregan factores relacionados con la simplificación de las labores para el productor, que se traducen en una reducción en las necesidades de labranza de la tierra y una mayor flexibilidad en los requerimientos laborales, lo que a mediano plazo se traducen en un aumento en la productividad laboral con menor costo y un ahorro en la mano de obra (Traxler, 2004; Schaper y Parada, 2001).

Por otro lado, la decisión de cuáles cultivos transgénicos se desarrollan se ha basado casi exclusivamente en las características demandadas por el mercado, algunas de las cuales han alcanzado éxito comercial (Royal Society of London, 2000). Algunos ejemplos son el desarrollo de variedades transgénicas para aumentar la vida de anaquel de las frutas y verduras, para conferir resistencia contra virus e insectos y para otorgar tolerancia a herbicidas específicos. Como se mencionó, estos productos son OGM de primera generación, con beneficios para los agricultores, pero ha sido difícil que los sectores de procesamiento de alimentos y los consumidores vean un beneficio como no sea, en algunos casos, un mejor precio debido a la disminución de los costos de producción (Royal Society of London, 2000). En los países en vías de desarrollo existen grandes pérdidas económicas debido a la maduración y reblandecimiento excesivo o descontrolado de frutas y verduras, y el costo para evitarlos es muy alto y quizás el efecto positivo más evidente para los consumidores sea el desarrollo de biotecnología para retrasar la maduración de frutas y verduras. Un ejemplo es el jitomate transgénico liberado en México desde 1995 por la empresa Calgene SA de CV, que posee una maduración retardada, así, los agricultores se benefician al tener un mayor tiempo para la cosecha y distribución del producto y los consumidores se benefician al poder almacenarlo por más tiempo.

En vista de que más de 90% del desarrollo de la biotecnología está en manos del sector privado, la propiedad intelectual y las patentes adquieren una importancia crucial (Schaper y Parada, 2001; Traxler, 2004). Una práctica común entre los agricultores de México y de muchos países en vías de desarrollo es la de conservar, intercambiar y reutilizar las semillas, lo que ha

permitido mantener la diversidad local de los cultivos. La protección de patentes y los derechos de propiedad intelectual de las semillas transgénicas no permiten a los agricultores volver a utilizar, compartir y almacenar las semillas (Schaper y Parada, 2001). Para asegurar una dependencia a insumos externos, las semillas transgénicas producidas por las diferentes empresas son estériles o pierden sus características en la segunda generación y son las mismas empresas las que comercializan los químicos necesarios para activarlas y los herbicidas a los cuales son tolerantes los transgénicos, lo que hace que tengan un mercado cautivo para sus productos. Este manejo monopólico aumentará la dependencia de los países ricos en biodiversidad como México, respecto a los países ricos en innovación tecnológica (Schaper y Parada, 2001; Traxler, 2004).

Impacto ambiental

Se ha considerado que los cultivos transgénicos tienen un impacto ambiental positivo debido a su mayor rendimiento por área, lo que evita la tala de bosques para destinar la tierra a la agricultura, y al disminuir el uso de agroquímicos que influyen negativamente sobre la biodiversidad. Sin embargo, la introducción de una especie con características diferentes a las del estado natural puede poner en riesgo la biodiversidad y la dinámica de las poblaciones silvestres, riesgo que se ha asociado al flujo de genes entre organismos que conviven en un mismo espacio.

El flujo de genes desde los cultivos hacia especies filogenéticamente cercanas es un proceso que ha ocurrido desde que se inició la domesticación de especies de plantas y ha sido parte del proceso de evolución de dichas especies. Un ejemplo claro es el maíz mexicano, cultivado desde hace cerca de cinco mil años a partir de las variedades silvestres conocidas como teocintes, que han dado lugar a docenas de híbridos que constituyen las diversas variedades locales. La idea de introducir cultivos transgénicos se han tornado un asunto de preocupación. Las inquietudes se enfocan no sólo a la pérdida de la diversidad biológica mantenida principalmente por comunidades agrícolas locales, sino también en lo concerniente a los cambios en el tipo de agricultura y al impacto cultural en un país donde, como se mencionó, el maíz está profundamente arraigado en su cultura y tradiciones (Soleri et al., 2006).

Desde el punto de vista de la biodiversidad, la introducción de OGM ha sido comparada con la introducción de nuevas especies en diversas regiones (las llamadas especies exóticas). Si bien una especie introducida no es exactamen-

te igual a un OGM ya que la primera se trata de un organismo completo, con miles de genes nuevos para el ambiente al que es introducido y en el caso de los OGM sólo se introduce un gen nuevo o un par de ellos, se sabe que pequeños cambios genéticos pueden llevar a cambios radicales en el fenotipo de las plantas (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001; Andow y Zwahlen, 2006). Se ha discutido la probabilidad de que los genes de los cultivos transgénicos puedan reemplazar a los genes silvestres, reduciendo la diversidad genética de las poblaciones silvestres y aumentando la diversidad biológica de híbridos de los cuales no se tiene la certeza de su comportamiento en el ecosistema. Si los híbridos resultantes tuvieran menor fuerza o vigor que sus antecesores silvestres, la población silvestre tendría altas probabilidades de crecer. Por el contrario, si los híbridos fueran más fuertes que sus antecesores podrían invadir y reemplazar a la población silvestre y a otras especies en áreas agrícolas y naturales (Andow y Zwahlen, 2006). En algunos casos estos híbridos viven en ausencia de depredadores naturales y agentes causantes de enfermedades y son más competitivos que las especies locales, lo que ocasiona una ruptura de los procesos ecológicos de la zona y la pérdida de biodiversidad. Este efecto sobre la biodiversidad se agrava debido a que el uso de variedades transgénicas obliga a los agricultores a abandonar la utilización de variedades locales, lo que provoca cambios ecológicos importantes y, además, la protección de patentes y propiedad intelectual sobre las semillas transgénicas antes mencionada, genera el riesgo de que pocas variedades lleguen a dominar el mercado de semillas, que algunas especies de plantas de cultivo carezcan de parientes silvestres con las que puedan entrecruzarse, dando como consecuencia una homogeneidad genética que también amenaza la diversidad biológica (Royal Society of London et al., 2000; Schaper y Parada, 2001).

Otra posible consecuencia del flujo de genes es el cambio en la relación establecida entre las plantas y los microorganismos (bacterias, virus y hongos) que viven parte de su ciclo de vida asociados a diferentes tejidos y que participan en diversos procesos importantes para la sobrevivencia y desarrollo de las plantas (Azevedo y Araujo, 2003; Andow y Zwahlen, 2006). La transferencia horizontal de genes de plantas a microorganismos es un proceso que ha sido observado únicamente en condiciones de laboratorio y no se tienen evidencias concluyentes de que ocurra en condiciones naturales. Para que esto ocurra deberán coincidir diversas condiciones: que el material genético encuentre un medio adecuado para evitar su degradación en el suelo, que logre atravesar diversas barreras físicas presentes entre las células de la planta y la bacteria y que ésta cuente con los mecanismos adecuados para la integración del nuevo gen en su propio material genético. Aun cuando la probabilidad de que los ge-

nes de una planta transgénica migren hacia los microorganismos es muy baja, se sabe que la modificación genética de los microorganismos podría poner en riesgo funciones vitales de las plantas silvestres.

También se ha planteado la posibilidad de que no sea el flujo de genes de los cultivos transgénicos, sino sus productos, los que se introduzcan al suelo y tengan efectos, no únicamente sobre la microbiota del suelo sino además sobre las poblaciones epífitas, endófitas y patógenas (Azevedo y Araujo, 2003). Un ejemplo es el caso de la papa transgénica actualmente cultivada en México, que expresa el gen de la lisozima T4, enzima que al lisar bacterias les confiere resistencia a la bacteria patógena *Erwinia carotovora*. Se ha encontrado que la lisozima T4, bajo condiciones experimentales, puede liberarse desde las raíces hacia el medio de cultivo y que algunas cepas de *E. carotovora* y otras bacterias, tanto gram-positivas como gram-negativas, son sensibles a las lisozimas, lo que hace suponer que las bacterias del suelo que originalmente no eran blanco del cultivo transgénico y que pueden estar participando en procesos para la sobrevivencia y desarrollo de otras plantas, pueden verse afectadas por las lisozimas de los cultivos de este tipo de papa transgénica (Azevedo y Araujo, 2003). No obstante, no existen reportes que indiquen que bajo condiciones naturales se presenten cambios en comunidades de patógenos ni que hayan emergido patógenos nuevos como efecto de este tipo de cultivos transgénicos (Azevedo y Araujo, 2003).

Los suelos sometidos a labores de labranza intensa para el control de maleza y en preparación para ser cultivados son propensos a la erosión y sufren graves pérdidas de agua. Por esto existe necesidad de contar con cultivos que prosperen en tales condiciones, lo que en parte se ha logrado por medio de cultivos transgénicos resistentes a herbicidas que propician un menor trabajo en la eliminación de malezas de manera mecánica, lo que reduce la erosión del suelo (Royal Society of London et al., 2000; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001). Sin embargo, en una reunión organizada en 1998 por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, por sus siglas en inglés) sobre los beneficios y riesgos de los cultivos transgénicos resistentes a herbicidas, se concluyó que el uso repetido de un herbicida (aquel al cual es resistente el cultivo) causa un cambio en la maleza que crece en las parcelas debido a que ejerce una presión selectiva que permite la evolución de malezas resistentes al herbicida en cuestión (Royal Society of London et al., 2000; Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001; World Health Organization, 2005).

Los cultivos resistentes a insectos, aunque no son tan extensos como los resistentes a herbicidas, han demostrado tener un impacto negativo sobre el

ambiente (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001; World Health Organization, 2005). El ejemplo más conocido es el de los cultivos Bt, algunas de sus variedades suelen secretar toxinas perjudiciales para muchos de los insectos que viven en los cultivos pero que no se alimentan de él. En un estudio realizado bajo condiciones de laboratorio se demostró que el polen del maíz Bt, maíz importado y comercializado en México, es tóxico para las larvas de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*). Un estudio posterior demostró que el polen del maíz Bt cubría plantas cercanas que sirven de alimento a las mariposas monarcas y que el número de mariposas monarcas muertas fue mayor, comparado con aquellas que se alimentan de plantas que no están cercanas a los cultivos Bt. Con estos estudios se concluyó que debido a que los insecticidas convencionales para matar lepidópteros en los cultivos de maíz también matan mariposas monarcas y otras especies de mariposas, se debería pensar en estrategias alternativas para el control de insectos. Sin embargo, los estudios en condiciones naturales sobre la toxicidad del maíz Bt indican que en la mayoría de los híbridos comercialmente disponibles, la expresión Bt en polen es baja y no alcanza las concentraciones necesarias para ser tóxico (Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2001; World Health Organization, 2005).

Por otro lado, aunque la resistencia a insectos está diseñada para afectar únicamente al insecto que causa daño al cultivo, se debe analizar el impacto de la desaparición de ese insecto en el ecosistema, ya que se rompe el equilibrio ecológico, con la consecuencia de tener una menor disponibilidad de alimentos para sus depredadores, entre otros efectos (Royal Society of London et al., 2000).

Impacto sobre la salud

A partir del surgimiento de los OGM se han planteado muchas preocupaciones acerca de sus efectos sobre la salud y la seguridad humanas, aun cuando hasta la fecha se han cultivado más de 30 millones de hectáreas de cultivos transgénicos y no se ha identificado ningún problema de salud humana relacionado específicamente con la ingesta de cultivos transgénicos o sus productos disponibles en el mercado (Royal Society of London et al., 2000).

Los efectos no deseados pueden clasificarse como efectos insercionales, es decir, relacionados con la posición de inserción del gen de interés, o como efectos secundarios, asociado a la interacción entre los productos expresados del gen introducido y los metabolitos y proteínas endógenas.

Las principales preocupaciones en cuanto a los efectos insercionales se han enfocado a la presencia de material genético extraño en las plantas, sobre todo en aquellas que sirven para el consumo humano. Se ha discutido que la inserción aleatoria de los nuevos genes en lo OGM pueden causar inestabilidades genéticas y fenotípicas, pero hasta ahora no hay evidencias claras de que eso esté sucediendo. Además, la expresión de los genes está sujeta a influencias ambientales y a interacciones con los productos de otros genes; así, la sequía, el calor y algunas proteínas endógenas podrían aumentar, disminuir o modificar la expresión de diversos genes en las plantas cultivadas, con consecuencias que aún se desconocen. Se ha demostrado que el ADN ingerido en los alimentos no se degrada por completo durante la digestión y que pueden hallarse pequeños fragmentos de ADN provenientes de plantas transgénicas en diferentes áreas del tracto gastrointestinal donde pudiera darse una transferencia horizontal de genes, desde el intestino hacia las bacterias de la flora intestinal y hacia las mismas células intestinales (World Health Organization, 2005). Es por esto que la utilización de genes de resistencia a antibióticos como marcadores de la modificación de genes en los OGM ha generado preocupación, ya que de ser consumidos en los alimentos provenientes de plantas transgénicas podrían aumentar la resistencia de los patógenos humanos a los antibióticos. Actualmente los científicos cuentan con medios para eliminar esos genes marcadores antes de que la planta transgénica sea desarrollada para uso comercial y aunque no existen pruebas que indiquen que esos genes son nocivos para los seres humanos, se ha tenido cuidado de eliminar esos marcadores o utilizar marcadores alternativos (World Health Organization, 2005). Los paneles de expertos de FAO/WHO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación / Organización Mundial de la Salud) han llegado a la conclusión de que la transferencia horizontal de genes es un evento raro pero que no puede ser descartado por completo y que deben considerarse las consecuencias de dicha transferencia en una evaluación de inocuidad de alimentos provenientes de cultivos transgénicos (World Health Organization, 2005).

Las principales preocupaciones en cuanto a los efectos secundarios se han centrado en la probabilidad de que se presenten reacciones alérgicas a componentes de los productos transgénicos y la introducción o el aumento de sustancias tóxicas como un resultado secundario de la biotecnología utilizada (World Health Organization, 2005).

La Comisión del Codex Alimentarius, organismo conjunto FAO/WHO, responsable de desarrollar normas, pautas y recomendaciones que constituyen el código internacional sobre alimentos, recomienda evaluaciones previas a

la comercialización de los alimentos provenientes de organismo transgénicos (World Health Organization, 2005). Los potenciales efectos de los alimentos sobre la salud son generalmente comparables a los riesgos conocidos asociados con alimentos convencionales. Se sabe que los principales alérgenos alimentarios son proteínas presentes en alimentos o sus derivados como el huevo, pescado, leche, maní, mariscos, soya, frutos secos (castañas de cajú y de Pará, nueces, almendras, pistachos, etc.) y trigo. Si se utiliza un gen de alguno de estos alimentos para ser transferido a una planta para desarrollar un OGM, es probable que el alimento transgénico provoque también reacciones alérgicas. Un caso conocido es el de la transferencia del gen de la albúmina 2S de la castaña de Pará, rica en el aminoácido metionina, a una variedad de soya anteriormente inocua. Cuando se examinaron las propiedades alérgicas de la soya transgénica, los pacientes alérgicos a las castañas de Pará resultaron alérgicos a la soya transgénica, por lo que se tomó la decisión de no comercializarla (World Health Organization, 2005). Existen pruebas establecidas para evaluar la presencia de alérgenos conocidos en los alimentos, sin embargo, no hay una prueba definitiva para determinar el potencial de alergenidad de una proteína nueva, importante en los OGM ya que el hecho de insertar un gen significa la presencia de una proteína particular donde antes no existía y estas nuevas proteínas pueden tener efectos no deseados en la salud humana (World Health Organization, 2005; Royal Society of London et al., 2000).

Como se mencionó, dentro de los cultivos transgénicos existe un grupo denominado plantas industriales o farmacéuticas que no están destinadas al consumo sino que fueron diseñadas para la obtención de productos de aplicación médica, como fármacos, vacunas o sustancias biológicas, o de aplicación industrial como producción de plásticos biodegradables, sustancias químicas y compuestos químicos especializados para laboratorios (Balbás y González, 2005), que constituyen los OGM de tercera generación. Casi un tercio de los fármacos que actualmente se utilizan derivan de plantas. Ya se tienen identificadas y caracterizadas 10% de las plantas medicinales y existe la posibilidad de que una vez identificadas se aumente el rendimiento de las sustancias medicinales por medio de cultivos transgénicos. Por otro lado, la producción y aplicación de las vacunas es un proceso costoso ya que casi todas las vacunas deben ser almacenadas en refrigeración y para su aplicación se depende de especialistas debidamente capacitados, lo que aumenta los gastos. Las vacunas producidas por medio de plantas transgénicas puede ser una solución ya que representan un acceso más fácil y una producción más económica. Ya se han producido vacunas contra enfermedades infecciosas del aparato digestivo en plantas como la papa y el plátano, y recientemente se logró expresar un anti-

cuerpo contra células tumorales en semillas de arroz y trigo que puede ser utilizado en un futuro en el diagnóstico y tratamiento del cáncer (Royal Society of London et al., 2000). La mayoría de estas plantas son sometidas a procesos de extracción y purificación para obtener los productos deseados en instalaciones especiales para esto, y sólo en algunos casos están diseñadas para ser alimentos, como es el caso de la papaya, los plátanos y la papa que se producen para servir como vacunas. La mayoría de los casos reciben un tratamiento y no deben ser incorporadas al ambiente sino hasta llevar a cabo las pruebas de bioseguridad (Balbás y González, 2005). Si bien estas plantas prometen ser una fuente más productiva y económicamente viable de productos especializados, su producción representa un riesgo para la salud si accidentalmente se incorporan a la cadena alimenticia, ya que producen moléculas no aptas para el consumo humano.

Se han hecho sugerencias para evitar la exposición de los consumidores a estas moléculas potencialmente dañinas, entre las cuales figuran: cultivar las plantas en invernaderos cerrados y controlados, usar en la medida de lo posible plantas no utilizadas para el consumo humano, no utilizar plantas de polinización abierta o desarrollar plantas transgénicas con polen estéril para evitar que el polen de los cultivos transgénicos contamine las plantas silvestres, desarrollar los cultivos transgénicos en zonas específicas donde no existan cultivos destinados a consumo humano para impedir que se mezclen las semillas, producir las moléculas de interés en sistemas genéticos inducibles, es decir, que las proteínas de interés se produzcan sólo bajo ciertas condiciones, temporalmente y bajo cuidadosos control experimental (Balbás y González, 2005).

En los países en vías de desarrollo mueren o enferman millones de niños menores de 5 años a causa de la desnutrición (Royal Society of London et al., 2000). La modificación de la composición de proteínas, almidones, grasas o vitaminas mediante la modificación de vías metabólicas ya se ha logrado en algunas especies de plantas. Tales modificaciones aumentan el valor nutritivo de los alimentos y podrían ayudar a mejorar la salud humana por aliviar la desnutrición y la mala nutrición. Esta estrategia se ha dirigido principalmente para resolver deficiencias de micronutrientes y por lo tanto a reducir el gasto nacional y los recursos necesarios para poner en marcha programas de suplementación (Royal Society of London et al., 2000). Un ejemplo es la vitamina A: la deficiencia de esta vitamina es la causa de que cada año queden ciegos medio millón de niños (Conway y Toennissen, 1999). Los métodos tradicionales de mejora de plantas no han logrado producir cultivos que contengan altas concentraciones de vitamina A mientras que la biotecnología ha permi-

tido la introducción de tres nuevos genes en el arroz, dos de ellos proceden del narciso y uno de un microorganismo. Este arroz transgénico presenta una mayor concentración de beta-caroteno, el precursor de la vitamina A (Royal Society of London et al., 2000).

Conclusión

La adopción de nuevas tecnologías para modificar los procesos naturales, tal como ha sucedido con la clonación, utilización de células madre y en este caso con la generación de nuevos organismos por medio de la ingeniería genética, han requerido de un largo tiempo para ser aceptados. El proceso natural para su aceptación implica un vasto conocimiento del fenómeno y evidencias claras de sus beneficios, que en el caso de los cultivos transgénicos sólo se ha logrado entre la comunidad científica y los sectores involucrados en su producción. La gran cantidad de datos contradictorios provenientes de ensayos realizados en los laboratorios y en los campos de prueba, ha generado confusión en cuanto al impacto que los cultivos transgénicos pueden tener. En muchos de los casos la interpretación de lo observado en el laboratorio no corresponde al comportamiento en condiciones naturales, y por otro lado, no ha transcurrido el tiempo necesario para determinar las consecuencias a largo plazo de su uso, por lo que se han realizado conclusiones con resultados parciales.

La regulación de las pruebas y liberaciones de cultivos transgénicos en los diversos países y la evaluación y seguimiento del impacto de su comercialización, permitirán obtener información sistematizada más confiable durante los próximos años para ser utilizada en evitar riesgos potenciales.

Bibliografía

- Aerni, P. (2004), "Stakeholder perceptions towards agricultural biotechnology in Mexico", *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology*, 3 (1/2), pp. 95-115.
- Alpuche Solís, Ángel Gabriel (2002), *Biotecnología e inocuidad alimentaria*. Versión electrónica: <http://www.invdes.com.mx/antiores/Febrero2002/htm/inocuidad.html>. Fecha de consulta: 10 de junio de 2006.
- Andow, D. A. y C. Zwahlen (2006), "Assessing environmental risks of transgenic plants", *Ecology Letters*, núm. 9, pp. 196-214.
- Azevedo, João Lúcio y Welington Luiz Araujo (2003), "Genetically modified crops: environmental and human health concerns", *Mutation Research*, núm. 544, pp. 223-233.

- Balbás, Paulina y Rosa Luz González (2005), "Biofábricas: las nuevas plantas transgénicas", *Cuadernos de Nutrición*, 28 (3), pp. 117-124.
- Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (2005). Versión electrónica: <http://www.cofepris.gob.mx/pyp/biotech/OMG.pdf>. Fecha de consulta: 10 de febrero de 2007.
- Commission for Environmental Cooperation (2004), "Maize and biodiversity: the effects of transgenic maize in Mexico". Versión electrónica: http://www.cec.org/files/PDF//Maize-and-Biodiversity_en.pdf. Fecha de consulta: 9 de febrero de 2007.
- Conway, G. y G. Toenniessen (1999), "Feeding the world in the twenty-first century", *Nature* 402, núm. 6761, suplemento, pp. C55-58.
- Food and Agriculture Organization of The United Nations (2001), "Genetically modified organisms, consumers, food safety and the environment". Versión electrónica: http://www.fao.org/ethics/ser_en.htm. Fecha de consulta: 21 de julio de 2006.
- Massieu, T. Y. y M. J. Lechuga (2002), "El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo", *Análisis Económico*, XVII (036), pp. 281-303.
- Royal Society of London, the us National Academy of Sciences, the Brazilian Academy of Sciences, the Chinese Academy of Sciences, the Indian National Science Academy, the Mexican Academy of Sciences and the Third World Academy of Sciences (2000), *Transgenic plants and world agriculture*. Washington, DC, National Academy Press.
- Sánchez-Gutiérrez, M. L. (2007), Actores sociales y controversias en la ingeniería genética agrícola: el caso del maíz transgénico en México, *La Jornada Ecológica*, número especial. Versión electrónica: <http://www.jornada.unam.mx/2007/01/29/eco-g.html>. Fecha de consulta: 11 de febrero de 2007.
- Schaper, Marianne y Soledad Parada (2001), "Organismos genéticamente modificados: su impacto socioeconómico en la agricultura de los países de la Comunidad Andina, Mercosur y Chile", *Serie Medio Ambiente y Desarrollo*, núm. 43. Publicación de las Naciones Unidas.
- Traxler, Greg (2004), "The economy impacts of biotechnology-based technological innovations", *ESA Working Paper* núm. 04-08. The Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Vain, Philippe (2006), "Global trends in plant transgenic science and technology (1973-2003)", *Trends in Biotechnology*, 24 (5), pp. 206-211.
- World Health Organization (2005), "Modern food biotechnology, human health and development: an evidence-based study". Versión electrónica: <http://www.who.int/foodsafety/publications/biotech/en/>. Fecha de consulta: 12 de junio de 2006.
- Yaya Lancheros, Mary Luz (2006), "Cultivos transgénicos en el mundo", *Transgen*, 1 (1), pp. 1-4.