



Biotecnología agrícola y agroecología, ¿complementarias u opuestas?

Alejandra Bravo



La generación de plantas transgénicas resistentes a insectos o con tolerancia hacia los herbicidas puede ser, bajo ciertas circunstancias y en contextos previamente evaluados que garanticen sustentabilidad, una alternativa para alimentar a millones de personas.

Este es un tema importante que fue abordado en este simposio dentro del evento *Ciencia y humanismo*, organizado por la Academia Mexicana de Ciencias en enero 2012. El tema ha desencadenado polémica en México, debido a que nuestro país es uno de los centros de origen del maíz y a que existe mucha desinformación sobre el tema.

A continuación trataré de hacer un resumen de lo que me pareció más relevante.

La pregunta de esta mesa: ¿la biotecnología agrícola y agroecología son complementarias, u opuestas? Tiene varias respuestas, según la consideremos desde el punto de vista científico, técnico o político. Es posible sostener que actualmente el enfoque adecuado para contestar la pregunta debe ser el de sustentabilidad, en particular desde el punto de vista de la seguridad alimentaria de la población mexicana. El análisis de sustentabilidad requiere integrar la interacción de los procesos ecológicos, económicos y sociales, y no implica que alguna técnica se descarte *a priori* bajo argumentos ideológicos.

La agroecología se definió como la ciencia que estudia la agricultura desde el punto de vista ecológico. Las tecnologías agroecológicas son las prácticas que contribuyen a una agricultura ecológica, en busca del desarrollo y gestión de sistemas agrícolas sostenibles. Así, el movimiento agroecológico busca el cambio social en la forma que producimos alimentos y en nuestra alimentación. Existe





una preocupación de los efectos nocivos que puede generar en el ambiente el uso de maíces transgénicos, así como el uso indiscriminado de productos químicos en la agricultura.

Un objetivo de la agroecología es la disminución del uso de agroquímicos como herbicidas, insecticidas, fungicidas, nematocidas y fertilizantes. También busca disminuir o evitar el monocultivo, hacer un uso sostenible de recursos naturales y disminuir el efecto de la agricultura sobre la biodiversidad que existe en un lugar determinado. En la agroecología se pretende adaptar las tecnologías agrícolas a las constricciones ecológicas de las regiones, apoyándose en la diversidad biológica (desde genes hasta ecosistemas) para desarrollar tecnologías agrícolas sostenibles.

Por la otra parte, en un sentido amplio, la biotecnología es la aplicación de tecnología en sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para crear productos o procesos. Desde este punto de vista, la biotecnología agrícola es muy amplia, ya que incluye aspectos tan diversos como cultivo de tejidos vegetales, la micro-propagación, el uso de marcadores moleculares para el mejoramiento genético, la genómica y la utilización de organismos genéticamente modificados (OGM) o plantas transgénicas, que expresan genes provenientes de otros organismos, adquiridos en formas que no ocurren naturalmente por cruce o recombinación natural. Sin embargo, la controversia sobre si la biotecnología es o no complementaria a la agroecología se da en la acepción más restringida de creación de organismos genéticamente modificados. En lo sucesivo, el concepto de la biotecnología agrícola será empleado en este sentido particular.

Desde el punto de vista científico se puede decir que la biotecnología agrícola y la agroecología tienen amplias posibilidades de complementariedad. Existen argumentos filosóficos y éticos que cuestionan si la biotecnología es natural y si los humanos tenemos derecho

a realizar cambios en el genoma, pero no sólo son difíciles de resolver, sino que posiblemente son irresolubles.

Para seguir adelante es necesario discutir con más detalle qué son los organismos genéticamente modificados: organismos a los cuales se ha introducido un material genético propio o extraño por métodos de laboratorio que involucran el uso de técnicas de ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante, o ingeniería genética. El desarrollo de esta tecnología surgió porque la información hereditaria (los genes) de todos los organismos vivos es químicamente idéntica (están formados por moléculas de ADN) y funcionalmente muy parecida. Con el desarrollo de técnicas de ingeniería genética, la biotecnología alcanzó una nueva dimensión, ya que fue posible aislar genes de un organismo y transferirlos a otro, generando así organismos genéticamente modificados. Éstos se diseñan y construyen para crear una nueva capacidad en el organismo receptor, la cual reside en el material genético transferido. El objetivo es ayudar a resolver problemas específicos.

El ser humano ha manipulado y modificado genéticamente a los organismos vivos que utiliza para su alimentación desde hace mucho tiempo: las plantas desde hace más de 10 000 años, con la domesticación del maíz, frijol, tomate, cacao, chile y otras. También ha incidido en el mejoramiento

de animales desde hace más de 5 000 años. Desde hace cientos de años ha modificado genéticamente a estos organismos utilizando mutágenos (sustancias que causan mutaciones), aun sin conocer la estructura del ADN. Estas técnicas de mutagénesis y los organismos generados no fueron cuestionadas como hoy lo son los organismos transgénicos; ni siquiera se consideró que pudiesen ser nocivos al ambiente. Después de que se descubrieron efectos nocivos en los insecticidas y otros compuestos químicos agrícolas, los cuestionamientos en relación con su uso en agricultura han sido más severos.



Actualmente, los organismos genéticamente modificados han sido muy seriamente cuestionados en cuanto a su potencial efecto negativo sobre el ambiente y sobre la biodiversidad, debido a que los genes extraños pueden pasar a otras especies (flujo génico) vía polinización cruzada. El monocultivo que conllevan también ha sido criticado, por su impacto negativo en la ecología y la biodiversidad.

Existen muchos genes que comparten bacterias, plantas y animales, incluyendo al humano. El 98% del genoma humano es similar al del chimpancé, y el 40% es similar al de la mosca. En el caso de las plantas, se ha demostrado que del 30 al 35% de sus genes son de origen bacteriano. Los eventos de *transferencia horizontal* de material genético ocurren cotidianamente en la naturaleza, y han sido parcialmente responsables de la evolución de las especies.

Los virus y las bacterias son los principales responsables del fenómeno de transferencia horizontal de material genético. Este fenómeno ocurre cotidianamente en las bacterias, que incorporan nuevo material genético de diferentes organismos del suelo, mediante el proceso llamado *transformación* genética. También se ha demostrado la transferencia genética de bacterias a plantas, como la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, que transfiere ADN propio a plantas de tabaco. Además, las plantas tienen gran cantidad de genes de origen bacteriano proveniente de bacterias fotosintéticas que dieron lugar a los cloroplastos.

En el genoma de los organismos hay material genético repetido, probablemente de origen bacteriano o viral: los llamados *transposones*, que representan al menos 30% del genoma humano. En maíz, los transposones constituyen el 85% de su genoma. Los transposones son secuencias de ADN que pueden cambiar de posición en el genoma; por ello han jugado y siguen jugando un papel importante en la reorganización y

evolución de los genomas. De hecho, pueden incluso causar mutaciones de manera natural en las plantas, al transportar genes de un lugar a otro.

Otro tipo de material genético repetido es el retroviral, el cual probablemente se estabilizó en los genomas mediante mecanismos de infección viral y posterior incorporación al genoma. Así, podemos concluir que la transferencia horizontal de ADN no es un fenómeno "antinatural".

Para generar una planta transgénica existen dos métodos principales. El primero utiliza a la bacteria *A. tumefaciens*, ya mencionada, la cual naturalmente introduce fragmentos de ADN en plantas, con la finalidad de hacer que la planta produzca sustancias

llamadas *opinas*, que son sustrato para la alimentación de la bacteria. De esta manera, los genes que esta bacteria introduce en la planta causan la formación de tumores en donde se fabrican las opinas. La ingeniería genética utiliza este mecanismo de transferencia de material genético, pero en vez de introducir los fragmentos que normalmente utiliza esta bacteria, ahora se introduce cualquier otro fragmento de ADN, que puede ser de origen bacteriano, vegetal o de otro organismo. La otra estrategia es la introducción de ADN a las células vegetales por medio de un sistema de bombardeo directo con macropartículas envueltas en ADN. Éste se incorpora por un fenómeno de re-

combinación genética, mediante el que el transgén se incorpora dentro del genoma. En caso de que esta inserción se realice dentro de un gen que codifica para una función importante en la planta, es decir una función vital para la célula vegetal, el organismo transgénico no sobreviviría. Hipotéticamente, este mismo evento podría surgir por inserción de un gen viral en una infección con un retrovirus o por la inserción de un transposón.

El primer reporte de expresión de genes heterólogos (de otra especie) en plantas fue en 1983 (Herrera-Estrella y colaboradores, 1983); la primera patente para la producción de plantas transgénicas fue presentada





por la Universidad de Gante, en Bélgica. Después de un litigio de cerca de 20 años y un costo de más de 25 millones de dólares, la patente fue otorgada a la compañía Monsanto, que desarrolló plantas transgénicas resistentes a insectos o tolerantes a herbicidas que son las que actualmente se utilizan comercialmente en todo el mundo, incluyendo a México. Hoy más de 134 millones de hectáreas se cultivan con plantas transgénicas en 27 países, y los organismos genéticamente modificados y sus productos son consumidos en más de 50 países por más de 300 millones de personas.

Para seleccionar una planta transgénica se producen más de 200 líneas transgénicas con el mismo gen, a fin de poder seleccionar la planta que tenga las características esperadas; por ejemplo, una mayor resistencia a insectos. Se seleccionan mínimo 50 líneas, y se eliminan las que tengan defectos. De las 50 seleccionadas, se escogen las 10 o 15 mejores, que presentan las mismas características que sus progenitoras, y se prueban en campo para examinar su productividad, tiempo de desarrollo y fenología (respuesta al clima). De las líneas evaluadas en campo, se seleccionan dos o tres para hacer pruebas de campo en diferentes localidades, y se elige la planta que presente mayor resistencia a insectos sin afectar ninguna de sus características respecto a las plantas progenitoras. Finalmente, se hacen análisis de alergenicidad y toxicidad para otros organismos, antes de su aprobación para uso comercial.

La mejor manera de evitar la selección de mutaciones en la planta es iniciar con un gran número de líneas y seleccionar aquellas cuya inserción esté en un "sitio silencioso" que permita el correcto desarrollo de

la planta. Nunca se han comercializado plantas que muestran aberraciones en su fenotipo: todas han sido desechadas. Es importante mencionar que en la naturaleza existen muchos agentes que pueden causar mutaciones en todos los organismos vivos, incluyendo a las plantas; por ejemplo, los transposones y retrovirus mencionados anteriormente, pero también agentes físicos y químicos como por ejemplo la luz ultravioleta, que pueden producir variantes con mutaciones en el genoma.

Las plantas resistentes a insectos expresan a una proteína de origen bacteriano (de la bacteria *Bacillus thuringiensis*) que destruye las células del intestino de los insectos. Esta proteína, llamada Cry, no es tóxica para los mamíferos, y es altamente específica para los insectos contra los que se dirige; ni siquiera es tóxica para todos los insectos lepidópteros, dípteros o coleópteros del mundo. Además, es completamente biodegradable y se ha utilizado por más de 60 años de manera comercial como insecticida tipo spray sin causar ningún daño en humanos.

Las plantas que expresan esta proteína eliminan la necesidad de aplicar masivamente insecticidas químicos para contender con el insecto particular que pueden controlar. De esta manera se reducen los costos de producción y se evitan pérdidas cuando el ataque de insectos es severo. Esta tecnología puede ser muy eficaz y poco dañina al ambiente, ya que permite evitar el uso de insecticidas químicos. Se ha reportado que en ausencia total de insecticidas, la producción agrícola se puede ver afectada de 20 a 30% cuando hay un ataque severo por insectos. Las toxinas Cry de *B. thuringiensis* también se utilizan como insecticidas tipo spray en campos agrícolas, estrategia que no daña el ambiente debido a su alta especificidad y a que son biodegradables. Sin embargo, en general las prácticas actuales utilizan sobre todo insecticidas químicos, que en general son de amplio espectro de acción y resultan tóxicos para muchos organismos, incluyendo mamíferos, y son *recalcitrantes*; es decir, necesitan periodos de tiempo muy largos para degradarse.

Existen otros ejemplos de plantas transgénicas que en el futuro podrían aportar grandes beneficios a los productores, como plantas resistentes a hongos que utilizan el gen *rpi-bt1*, que proviene de papa silvestre y

que disminuye el uso de fungicidas; plantas transgénicas resistentes a nemátodos (gusanos) mediante la transferencia del gen *npr1*, proveniente de la planta *Arabidopsis*, que permite disminuir el uso de nematocidas; asimismo, plantas tolerantes a sequía gracias a la introducción del gen *cspB*, tomado de una bacteria y que codifica para una proteína chaperona de ARN que da resistencia a diferentes tipos de estrés abióticos.

El marco jurídico que existe en México en relación con el uso de organismos genéticamente modificados está integrado por el Convenio sobre la Diversidad Biológica, el Protocolo de Cartagena y la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (Bolívar y colaboradores, 2011). El uso de cualquier tecnología tiene riesgos potenciales: el maíz *Starlink*, en Estados Unidos, es un ejemplo, pues se reportaron posibles efectos alergénicos y fue retirado del mercado. Es importante mencionar que no se ha reportado ningún efecto alergénico producido por los cultivos transgénicos que actualmente se utilizan en más de 50 países en todo el mundo. Asimismo, la información científica disponible hasta ahora no ha mostrado daños a la salud humana.

El objetivo de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados es garantizar la protección de la salud humana, el ambiente, la diversidad biológica y la sanidad animal, vegetal y acuícola en relación con el uso de organismos genéticamente modificados. El consenso es que hay que evaluar y dar seguimiento a caso por caso, con base en el conocimiento científico. El análisis debe contemplar los posibles riesgos por la utilización de organismos genéticamente modificados, pero también los riesgos de no emplearlos, que en algunos casos son muy claros, como ocurre con el uso de plantas transgénicas resistentes a insectos. El hecho de no utilizarlas hace necesario aplicar pesticidas químicos que, como se mencionó, conllevan una gran cantidad de problemas, como contaminación y desarrollo de enfermedades.

Existen algunas publicaciones que reportan efectos negativos en animales por el consumo de ciertos organismos genéticamente modificados. Los riesgos a la salud se han evaluado mediante la alimentación de ratones y conejos con altas dosis de proteínas Cry puras o de alimentos que contienen esta proteína, sin que se

hayan demostrado efectos nocivos en estos animales aun cuando se utilizan dosis que equivaldrían a que una persona promedio comiera diariamente tres o cuatro toneladas de tomates transgénicos.

Es importante que estos experimentos sean repetidos por otros grupos para validar sus resultados, ya que podrían existir otros factores responsables del daño, como presencia de pesticidas o herbicidas en las variedades analizadas. Sin embargo, de demostrarse algún perjuicio debido a algún organismo genéticamente modificado, habría que cancelar el uso del mismo. A la fecha no se ha cancelado el uso de los organismos genéticamente modificados resistentes a insectos o tolerantes a herbicidas que se usan en todo el mundo, y que se han usado de manera intensiva por varios años, por lo que se continúa su utilización y su consumo.

Es importante tener en cuenta que el genoma de los organismos tiene una gran plasticidad, que le da capacidad de reorganización y de transferencia horizontal de ADN como un fenómeno natural, que resulta durante la infección de bacterias o de virus. Por ello, la posibilidad de que un gen, incorporado en plantas mediante técnicas de ingeniería genética que da resistencia a insectos pueda generar una catástrofe ecológica, es difícil de entender. Aquí quisiera enfatizar que cada caso debe ser estudiado con cuidado, ya que otros genes introducidos en una planta particular podrían ser diferentes.

Es claro que si un objetivo de la agroecología es disminuir el uso de agroquímicos como insecticidas, fungicidas y nematocidas, y permitir una agricultura más sustentable que optimice el uso de los recursos





En México la controversia y disputa por la siembra de maíz transgénico ha adoptado características de imposición autoritaria... Por otro lado, el control casi completo de la agenda biotecnológica y de los derechos intelectuales por las corporaciones multinacionales, con las instituciones públicas prácticamente subordinadas a ellas, no sugiere sustentabilidad de largo plazo

naturales como el agua, entonces la biotecnología agrícola, entendida como el uso de plantas transgénicas, podría ser complementaria a la agroecología.

Los análisis de sustentabilidad del maíz transgénico en el mundo indican que podría representar eficiencia productiva, con posible reducción del uso de insecticidas si se usan plantas resistentes a insectos, pero con incremento en el uso de herbicidas si se usan plantas tolerantes a éstos, lo cual podría generar otros efectos derivados del uso de glifosato y la generación de resistencia en malezas, además de los posibles efectos nocivos en humanos producidos por este herbicida. El uso de organismos genéticamente modificados podría presentar un incremento en el número de insectos benéficos no susceptibles a las toxinas Cry, insecticidas naturales utilizadas en estas plantas, pero también generaría resistencia en insectos hacia las toxinas Cry presentes en los transgénicos (Franke y colaboradores, 2011).

Actualmente, las variedades transgénicas disponibles no tienen un aumento intrínseco de rendimiento en países desarrollados, aunque sí generan una reducción de costos. Por otro lado, en el caso de nuestro país, existen externalidades (monitoreo, control de movimiento de semilla y otros) que aparentemente tendrán que ser pagadas socialmente. Carecemos de claridad

legal respecto a las responsabilidades en casos de dispersión inadvertida, y el grupo de agricultores que se pueden beneficiar pudiera ser reducido. Todos estos aspectos deben tomarse en cuenta. Las "tecnologías agroecológicas" tampoco son necesariamente de aplicación generalizada a cualquier condición, y podemos encontrar prácticas con sustento científico endeble y hasta inexistente. Desde el punto de vista técnico, la complementariedad de la biotecnología y la agroecología no es generalizada, y requiere análisis específico de los casos.

Como tecnologías, no es posible darle carta blanca a la biotecnología agrícola ni a la agroecología; ambas deben ser evaluadas en sus aplicaciones específicas para determinar su contribución, o falta de ella, a la sustentabilidad. Las posibilidades de aplicación de la biotecnología son increíblemente amplias, y es prácticamente imposible que todas las aplicaciones sean benéficas para la sustentabilidad. Aplicaciones que en algunos países o regiones tienen sentido, en otras condiciones pueden no tenerlo. En México, el maíz transgénico está en esta situación: la importancia de los recursos genéticos nativos, el manejo de las semillas, sus formas de uso y la historia e importancia social del cultivo introducen condiciones distintas al resto de los países, que requieren ser consideradas en su especificidad. Es por eso que en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y en su Reglamento se propone analizar caso por caso.

Es en los aspectos sociales y políticos donde la controversia se torna áspera, y donde la complementariedad desaparece. En México la controversia y disputa por la siembra de maíz transgénico ha adoptado características de imposición autoritaria. Del lado del discurso protransgénico se busca despolitizar el debate moviéndolo sólo al ámbito científico. Por otro lado, el control casi completo de la agenda biotecnológica y de los derechos intelectuales por las corporaciones multinacionales, con las instituciones públicas prácticamente subordinadas a ellas, no sugiere sustentabilidad de largo plazo. Por su parte, la prensa exagera los riesgos, creando percepciones públicas mal informadas. Los efectos a largo plazo son desconocidos; sin embargo, el monocultivo también afecta a la biodiversidad, y su uso no ha sido severamente criticado. Ya existe la percepción de que científicos

de instituciones públicas actúan como voceros de las compañías biotecnológicas y se alían con éstas en contra de la sociedad civil. Esta percepción no es correcta, y pudiese tener efectos contraproducentes. Esto ya comienza a suceder, al confundirse los transgénicos con los híbridos convencionales. El problema principal es la pérdida de confianza en los biotecnólogos y los científicos en general. Si la disputa continúa en los términos actuales, existe el riesgo de que esta visión se extienda.

La disputa entre las plataformas discursivas de los biotecnólogos y el movimiento agroecológico se inscribe en términos ideológicos que no parecen tener punto de acuerdo. El rechazo generalizado a toda la biotecnología por parte del movimiento agroecológico es también un ejemplo de lo anterior. Continuar con las siembras de maíz transgénico en medio de un amplio

rechazo social de agricultores y otros grupos sociales también es ejemplo de lo anterior. Es posible caracterizar conflictos de interés en las posiciones y argumentos de ambos discursos, más preocupados por llevar adelante su agenda que por el bien común de los mexicanos. Nos arriesgamos a que amplios grupos sociales pierdan confianza en los científicos, al percibirlos como aliados de las compañías agroindustriales. La biotecnología requiere, en particular, mayor sensibilidad en aspectos sociales, y su regulación necesita incorporar procesos democráticos si se busca tener una aceptación social menos impugnada. Se requiere una legislación que permita el control democrático y libertad de decisión del público en cuanto a la selección de sus alimentos.

La agricultura es un proceso que requiere de un conjunto de técnicas; ninguna es suficiente en sí misma.





Como ciencias, ambas disciplinas, la biotecnología y la agroecología, tienen el gran potencial de ser complementarias para buscar la sustentabilidad de la agricultura.

No hay una sola tecnología que por sí misma resuelva la seguridad alimentaria del país. La biotecnología agrícola no es innatamente buena o mala. Tiene el potencial de mejorar la actividad agropecuaria y de proteger el ambiente, pero el reto es desarrollar, proveer y manejar la biotecnología en beneficio del ser humano protegiendo la biodiversidad y el ambiente.

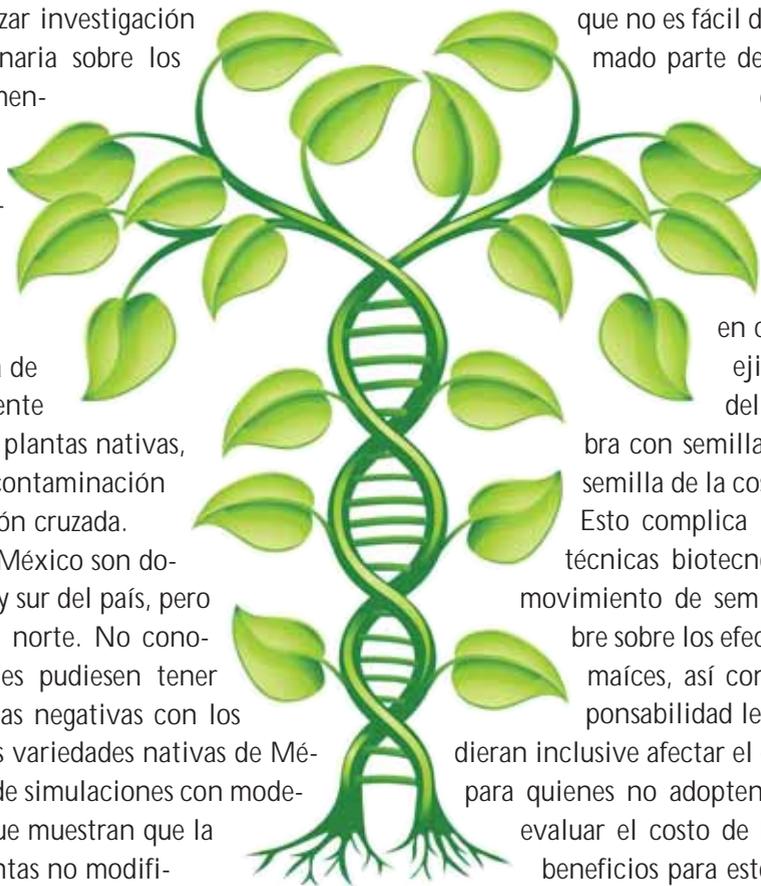
Se requiere de una sociedad bien informada que pueda analizar todas las alternativas tecnológicas para contender con los problemas específicos y con las demandas de producción. Se requiere además de un decidido apoyo a la comunidad científica para poder evaluar y aprovechar todas estas tecnologías disponibles. La concentración excesiva de inversión en biotecnología, en menoscabo del resto de las tecnologías necesarias para la agricultura, puede producir retroceso en lugar de avance. La inversión debe hacerse en proyectos de los dos lados.

Es importante realizar investigación científica interdisciplinaria sobre los transgénicos para realmente entender las respuestas que los transgenes podrían generar en la planta, y que no son evidentes. Se ha debatido sobre los problemas de coexistencia de organismos genéticamente modificados junto con plantas nativas, y de la posibilidad de contaminación genética vía polinización cruzada. Los maíces nativos de México son dominantes en el centro y sur del país, pero también los hay en el norte. No conocemos si los transgenes pudiesen tener interacciones genómicas negativas con los fondos genéticos de las variedades nativas de México. Existen estudios de simulaciones con modelos computacionales que muestran que la contaminación en plantas no modifi-

cadas puede ser un problema serio para la biodiversidad si se adoptara el uso de organismos genéticamente modificados de manera excesiva y sin control de fronteras con las plantas nativas (Belcher y colaboradores, 2005). Sin embargo, también existen estudios experimentales en los que se muestra que el flujo génico mediado por polen en maíz puede reducirse a niveles muy bajos si se toman precauciones como el desfase en la sincronización de la floración y con una cierta distancia; así, en España se demostró que 10 días de desfase en la floración y 25 metros de distancia reducen significativamente el flujo génico en campos experimentales (Messeguer y colaboradores, 2006). Este tipo de estudios deberían ser realizados en nuestro país, donde las condiciones ambientales son diferentes.

También es importante incorporar estudios sociales y económicos del uso de esta tecnología, tomando en cuenta aspectos bioéticos y sociales, así como los posibles beneficios a los agricultores. La adopción de la biotecnología agrícola implicaría cambios en el manejo de semilla, ya que no se podría utilizar la semilla obtenida por los productores, y esto es algo

que no es fácil de cambiar, ya que ha formado parte de las prácticas de los pequeños productores por generaciones. En México, 70% del área de cultivo de maíz está asignada a pequeños y medianos productores en comunidades indígenas y ejidos. Actualmente, 25% del maíz en México se siembra con semillas comerciales, y 75% es semilla de la cosecha de los agricultores. Esto complica mucho la aplicación de técnicas biotecnológicas, al restringir el movimiento de semillas. Existe incertidumbre sobre los efectos de la coexistencia de maíces, así como de efectos en la responsabilidad legal y económica que pudieran inclusive afectar el empleo y salario familiar para quienes no adopten la tecnología. Se debe evaluar el costo de la tecnología contra los beneficios para estos agricultores. En India



y Sudáfrica han reportado efectos benéficos en cuanto a producción y reducción de uso de insecticidas. En México también, ya que el algodón transgénico ha generado ganancias en productividad y reducción significativa del uso de insecticidas químicos (Traxler y Godoy-Ávila, 2004). Después de 10 años de uso de esta tecnología, se ha demostrado que la principal plaga del algodón, el gusano rosado, ha sido suprimida en la zona aldonera del norte del país. Éstos son datos alentadores, pero cada caso debe ser tomado con mucha precaución, y todos los elementos deben ser analizados. México podría desarrollar sus propias variedades transgénicas buscando contender con problemas de insectos que son particulares de nuestro país, así como optimizar el uso de terrenos desérticos y de recuperar tierras contaminadas.

Se requiere que los legisladores y responsables de las áreas administrativas cuenten con información actualizada sobre el tema y con la asesoría de personal técnico para poder tomar decisiones sobre la liberación de transgénicos de acuerdo con la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y de su Reglamento.

Aún es necesario desarrollar investigación sólida y original en agroecología y en biotecnología. Para esto es indispensable tener una estructura nacional de investigación agrícola de primer nivel, y complementarla con mecanismos eficientes de extensión y distribución de los productos de investigación.

Alejandra Bravo es doctora en investigación biomédica básica por el Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) e investigadora del mismo. Su especialidad es el estudio del mecanismo de acción de las proteínas insecticidas producidas por *Bacillus thuringiensis*.

bravo@ibt.unam.mx



Lecturas recomendadas

- Belcher y colaboradores (2005), "Genetically modified crops and agricultural landscapes: patterns of contamination", *Ecological economics*, 53: 387-401.
- Bolívar Zapata, Francisco y colaboradores (coord., 2011), "Por un uso responsable de los organismos genéticamente modificados", México, Academia Mexicana de Ciencias.
- Franke y colaboradores (2011), *Sustainability of current GM crops, based on the cases of soybean, maize and cotton. Report 386*, Wageningen UR.
- Herrera-Estrella y colaboradores (1983), "Expression of chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti-plasmid-derived vector", *Nature*, 303: 209-213.
- Messeguer y colaboradores (2006), "Pollen-mediated gene flow in maize in real situations of coexistence", *Plant biotechnology journal*, 4: 633-645.
- Traxler y Godoy-Ávila (2004), "Transgenic cotton in Mexico", *AgBioForum*, 7: 57-62.