

# ¿Transgénicos o no transgénicos en México? Impacto del a

Mario Soberón y Alejandra Bravo

Los Dres. Alejandra Bravo y Mario Soberón son investigadores del Instituto de Biotecnología de la UNAM y miembros de la Academia de Ciencias de Morelos (ACMor). Esta publicación fue revisada por el comité editorial de la ACMor.

Durante la ceremonia de toma de posesión del presidente Andrés Manuel López Obrador, este menciona que no se utilizarán ni *fracking*, ni transgénicos. Sobre la utilización del *fracking* en la extracción de gas no podemos opinar, pero sobre la utilización de transgénicos en la agricultura mexicana es posible detallar el impacto que ha tenido la utilización de algodón genéticamente modificado (GM) en la industria algodонера. Esto con el propósito de ejemplificar los beneficios de esta tecnología y que se puedan tomar decisiones informadas sobre su utilización en la agricultura en nuestro país. En el año 2017, la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM)<sup>1</sup> solicitó a investigadores del Instituto de Ecología y del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México, realizar un análisis del impacto del algodón GM en la productividad del cultivo de algodón y el uso de pesticidas, además de su posible efecto en organismos no blanco. Con este propósito se organizó a un grupo de expertos para recopilar los datos de la industria algodонера mexicana y realizar encuestas entre los productores de algodón y entre los técnicos agrícolas. Los resultados de este trabajo de investigación fueron entregados a la CIBIOGEM y se publicaron un libro y un artículo de investigación que resume las conclusiones más importantes que se alcanzaron<sup>2</sup>.

## El origen del algodón y su importancia en México

El algodón es una fuente natural de fibra, aceite y semillas para la alimentación del ganado. Todo el algodón producido en el mundo se obtiene de cuatro especies domesticadas del género *Gossypium*, de la familia *Malvaceae*. La domesticación del algodón ocurrió simultáneamente en diferentes regiones: *G. hirsutum* en México, *G. barbadense* en Perú, *G. arboreum* en Sudán y *G. herbaceum* en Pakistán. La especie *G. hirsutum*, comúnmente conocida como algodón mexicano o algodón de altiplanicie, representa el 90% de la producción mundial. Sin embargo, podemos encontrar más especies de al-

godón, como en Centro y Sudamérica donde se encuentran 18 especies. En México existen 14 especies, en el noreste de África y sudoeste de Arabia tienen 14 especies y en Australia, 17 especies. Antes de la tecnología GM, la producción de algodón en México tenía enormes costos ambientales, económicos y sanitarios

China, Colombia, Costa Rica, Estados Unidos, India, México, Paraguay, Pakistán, Sudáfrica y Sudán). En México, el aumento en la adopción de algodón GM ha sido gradual desde 1996 y en 2012 el 96% del área cultivada de algodón fue algodón GM. La Figura 1 muestra un campo cultivado con algodón GM.

tenían genes con información para una proteína que es tóxica para las larvas de ciertos insectos. Esta proteína llamada Cry forma cristales, los cuales actúan sobre los intestinos de los insectos, con lo cual se tiene un efecto insecticida. Los genes *cry* han sido aprovechados biotecnológicamente como insecticidas, con

los patrones de distribución geográfica de las diferentes variedades y también los mecanismos de dispersión de la especie<sup>3</sup>.

## Los factores que influyen en los posibles riesgos en el uso de algodón GM

El flujo de genes en las plantas se da a través del polen, pero se requieren de varios factores para que el flujo suceda. Las plantas GM y las silvestres tendrían que coexistir en la misma área, deben ser compatibles y el polen tendría que dispersarse por medio de los polinizadores. En el caso del algodón, la tasa de polinización cruzada (probabilidad de que una planta se polinice con polen de otra planta) es igual o menor al 10%, ya que 90% de las semillas son producto de la autopolinización. Por un lado, la polinización cruzada por las abejas, disminuye significativamente con la distancia entre las plantas y depende de las condiciones climáticas y ecológicas. Por otro lado, de acuerdo con los registros de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad<sup>4</sup>, la ubicación geográfica de especies nativas y las regiones donde actualmente se siembra el algodón transgénico se encuentran muy separadas. Se han analizado tanto la distribución de especies de algodón nativo, como los sitios en los que el clima es óptimo para dichas especies<sup>2</sup> como se muestra en la Figura 2. Los puntos verdes en esta figura muestran sitios óptimos para crecimiento de algodón que justo corresponden a las áreas donde se encuentra el algodón nativo; los puntos rojos corresponden a regiones semiáridas y los puntos negros a las regiones en donde crece actualmente el algodón GM. Esto nos indica que las regiones de cultivo de algodón GM corresponden a regiones semiáridas (Figura 2) y se puede ver que no coinciden con el área de zonas climáticas adecuadas de *G. hirsutum* silvestre<sup>2</sup>. Sin embargo, el mayor riesgo de flujo genético no es el polen, sino las semillas derramadas durante el transporte, que pueden ser dispersadas por el viento o el agua<sup>2</sup>. Durante las visitas de campo a las áreas de producción de algodón, se ha observado que existen medidas de control muy estrictas por parte de las compañías, durante el movimiento de la semilla de algodón GM a los campos, ya que usan paquetes y vehículos cerrados. Sin embargo, después de la cosecha, las semillas se transportan en vehículos abiertos y algunas son derramadas en las carreteras. Las plantas voluntarias, que son plantas que nacen a partir de desechos de cosechas



Figura 1. Campo cultivado con algodón GM

debido a la aplicación de grandes cantidades de pesticidas. En 1970, el algodón requería casi 20 aplicaciones de insecticida químico desde la emergencia hasta la cosecha. A mediados del siglo XX, en el pico de la producción de algodón en México, el área sembrada alcanzó las 900,000 Ha con dos millones de pacas por año. El aumento de la presión de las plagas y las altas dosis de pesticidas aplicados dieron como resultado la evolución de insectos resistentes a insecticidas químicos. Además, la reducción en el precio internacional de la fibra provocó una disminución drástica de la producción debido a los costos operativos insostenibles, con la consecuencia de la práctica desaparición del cultivo del algodón en nuestro país.

Con el propósito de reactivar la industria algodонера en nuestro país, el algodón GM se sembró comercialmente por primera vez en México en 1996 y en otros cinco países. Las regiones de producción de algodón de México se encuentran en el norte del país, en donde hay un clima árido y se utilizan sistemas de riego. Desde entonces, un total de 15 países han comercializado algodón GM (Argentina, Australia, Birmania, Brasil, Burkina Faso,

Los eventos de transformación que se han autorizado en México confieren dos rasgos principales: la **tolerancia a los herbicidas** y la **resistencia a las plagas de insectos**, en particular algunos del orden taxonómico lepidóptero<sup>1</sup>. En el primer caso, las plantas son tolerantes a los herbicidas como el glifosato, el glufosinato de amonio o la dicamba, que se usan para combatir las malezas. En el segundo, la resistencia a las plagas de insectos lepidópteros como el **gusano rosado** (*Pectinophora gossypiella*), se logra gracias a la inserción de genes *cry* de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (Bt) que le permite a la planta no ser atacada por larvas de diferentes plagas de lepidópteros como el ya mencionado gusano rosado, **gusano de la oreja del maíz** (*Helicoverpa zea*), **gusano del tabaco** (*Heliothis virescens*) y **gusano de la remolacha** (*Spodoptera exigua*).

## La proteína Cry y su mecanismo plaguicida

En el año 1911, Ernst Berliner descubrió que la bacteria *Bacillus thuringiensis* causaba una enfermedad en las orugas de la polilla gris de la harina, pero no fue hasta 1976 que Robert A. Zakharyan descubrió que estas bacterias

los cuales no se afecta el medio ambiente ya que su efecto sobre otras especies de insectos polinizadores o benéficos, es casi nulo. La toxina, al ser ingerida por los insectos, se activa debido a que el pH de su intestino es alcalino, lo cual activa a la toxina y esta comienza a destruir las células del intestino. Se han realizado varios estudios donde se ha probado que este mecanismo es muy específico para insectos, por lo que no tienen efecto sobre el humano, lo cual garantiza la seguridad en su uso como insecticida. Gracias a las técnicas de biología molecular, ha sido posible incorporar los genes *cry* en algunas plantas como el algodón y, como ya se mencionó, esto le confiere resistencia a las plagas. Dado que México es un importante centro de origen y diversificación del algodón, una de las principales preocupaciones ambientales para la liberación de algodón GM es la posibilidad de un flujo de transgén a las poblaciones de algodón nativo. Lo anterior se refiere a la probabilidad de que el gen de la bacteria que fue introducido en la planta de algodón pueda incorporarse a otras especies de algodón o incluso a otras plantas. Para evaluar este riesgo, es necesario conocer

# Algodón genéticamente modificado

anteriores o bien en este caso, son las que pueden crecer a partir de estas semillas derramadas<sup>2</sup>, son el verdadero problema para las autoridades sanitarias y las empresas de semillas, las cuales están a cargo de eliminarlas.

o más genes *cry* con diferentes modos de acción, ayuda a retrasar la evolución de la resistencia. En el 2002 se estableció un programa de erradicación del gusano rosado, *P. gossypiella* entre los Estados Unidos y

otros países como Estados Unidos, Brasil y Argentina.

## Efectos e impactos del cultivo de algodón GM en México

El uso de algodón GM ha contribuido a reducir sustancialmente

en el rendimiento ha sido significativo, tanto en Chihuahua como en La Laguna y Mexicali, donde los incrementos son de 1.8, 2.4 y 3.7 pacas por hectárea, lo que equivale a aumentos de 8,700, 11,500 y 17,700 pesos por hectárea, respectivamente<sup>2</sup>.

## El uso de organismos GM requiere de decisiones bien informadas

*G. hirsutum* es una especie nativa en México, a partir de la cual se han desarrollado varios cultivos GM altamente eficientes para la producción de algodón en México y todo el mundo. El algodón tetraploide *G. hirsutum* se separó de sus antepasados diploides hace varios millones de años. Debido a la distribución y composición cromosómica de esta especie, existe poco riesgo de introgresión o mezcla con otras especies silvestres diploides de México por el flujo de polen. Sin embargo, la posibilidad de mezclarse con poblaciones silvestres de la misma especie u otra especie tetraploide es un riesgo potencial y se deben mantener programas de monitoreo de transgenes, centrándose en el destino y la dispersión de las semillas que dejan las plantas desmotadoras y los derrames que se producen durante su transporte.

Desde el punto de vista ambiental, hasta el momento no se han reportado casos de resistencia de malezas al glifosato asociado con el algodón en México. Sin embargo, se recomienda fomentar el uso de prácticas de manejo apropiadas y herbicidas alternativos con diferentes mecanismos de acción para retrasar la evolución de la resistencia<sup>2</sup>. Se sabe que el uso de herbicidas con dos o más modos de acción retrasa significativamente la evolución de la resistencia a los herbicidas. Es necesario continuar integrando el uso de herbicidas con otras prácticas de manejo, como el cultivo en hileras de labranza profunda y la rotación de cultivos para diversificar el manejo de malezas y disminuir la presión de selección para la resistencia a los herbicidas.

## Los resultados del uso de algodón GM en México

Desde su introducción hace 20 años del algodón GM en México, ha habido una disminución en el uso de insecticidas químicos<sup>2</sup>. Además, es importante mencionar que los insecticidas químicos que se utilizan actualmente para controlar otras plagas tienen un impacto ambiental menor que los utilizados hace un par de décadas.

Es necesario que los agricultores y los técnicos de algodón se involucren en la detección de una posible pérdida de eficacia del

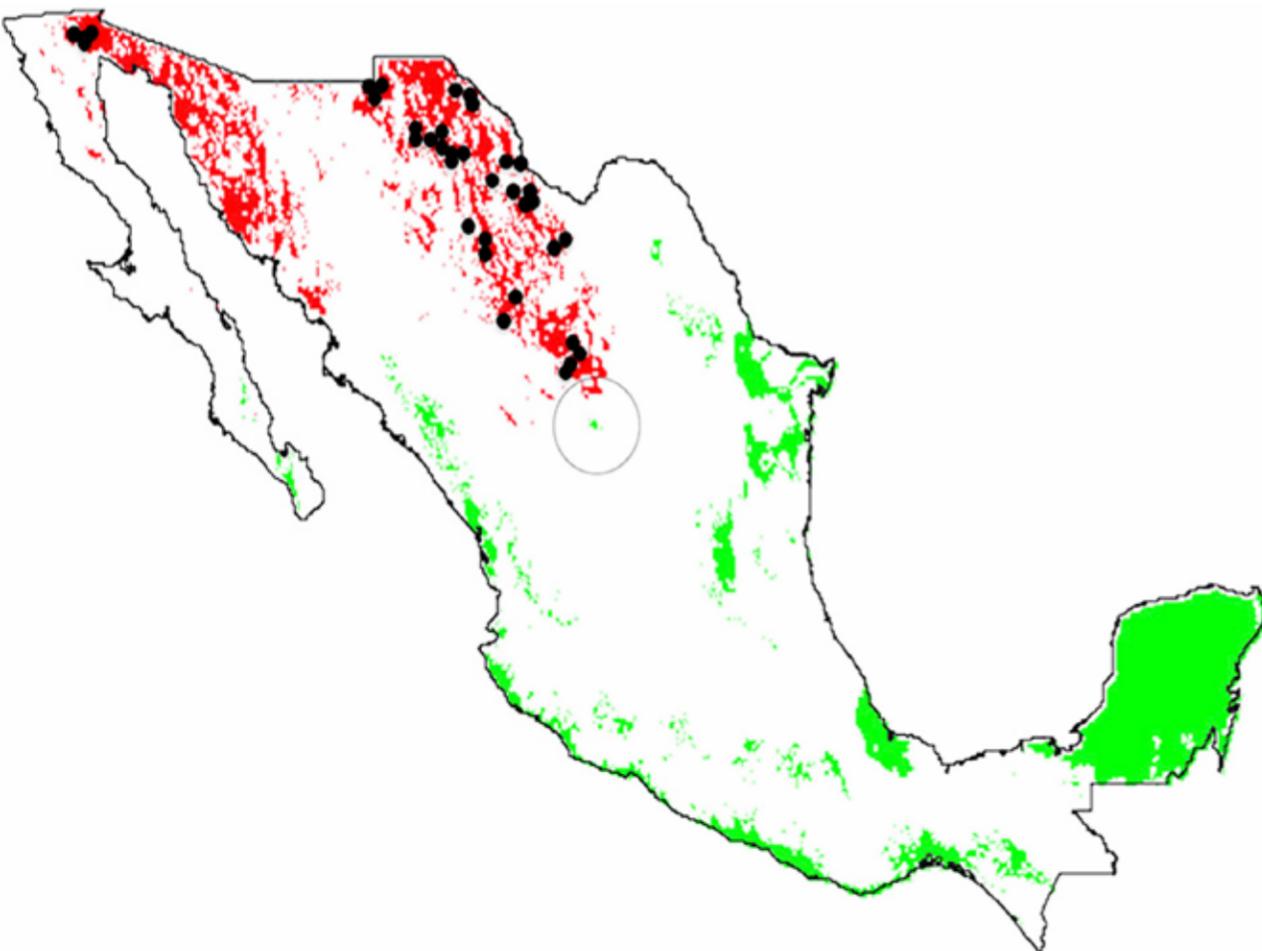
algodón GM contra las plagas objetivo, así como en la participación activa para implementar las acciones de prevención de resistencia, particularmente la implementación adecuada de áreas de refugio. Finalmente, el apoyo federal para los productores de algodón se considera crucial para continuar con el Programa Binacional (México-USA) para la erradicación del gusano rosado y el gorgojo del algodón, a fin de declarar más zonas libres de estas plagas a corto plazo.

Finalmente, El cambio en la composición de las plagas primarias de insectos y el desarrollo de malezas resistentes al glifosato, así como el aumento en la cantidad de glifosato aplicado, sugieren la necesidad de generar nuevos desarrollos biotecnológicos. Es recomendable que las autoridades apoyen la investigación que satisfaga las nuevas necesidades de la biotecnología agrícola en los próximos 20 años que incluye el uso de plantas transgénicas. Si bien la tecnología de las plantas GM tiene riesgos potenciales que hay que atender, en el caso del algodón GM en México, ha permitido rescatar a esta industria, aumentar los rendimientos y disminuir el uso de pesticidas químicos.

*Esta columna se prepara y edita semana con semana, en conjunto con investigadores morelenses convencidos del valor del conocimiento científico para el desarrollo social y económico de Morelos. Desde la Academia de Ciencias de Morelos externamos nuestra preocupación por el vacío que genera la extinción de la Secretaría de Innovación, Ciencia y Tecnología dentro del ecosistema de innovación estatal que se debilita sin la participación del Gobierno del Estado.*

## Referencias:

1. CIBIOGEM 2018. *Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados*. [https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/inicio]
2. Rocha-Munive MG, Eguarte LE, Soberón M, Castañeda S, Nieves E, Scheinvar E, Mota-Sanchez D, Rosales-Robles E, Nava-Camberos U, Martínez-Carrillo JL, Blanco CA, Bravo A and Souza V. 2018 Evaluation of the impact of genetically modified cotton after 20 years of cultivation in Mexico. *Front Bioeng Biotechnol* 6:82. doi: 10.3389/fbioe.2018.00082
3. SAGARPA, 2018. *Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*. https://www.gob.mx/sagarpa
4. CONABIO, 2018. *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. http://www.conabio.gob.mx/remib\_ingles/doctos/remibnododb.html



**Figura 2. Modelo de distribución de algodón GM2. Puntos verdes: regiones con clima adecuado para crecimiento de algodón nativo. Puntos rojos: Regiones semiáridas con potencial a ser usadas para crecimiento de algodón GM. Puntos Negros: registros de las parcelas de algodón GM.**

## Evolución de la resistencia en insectos

Uno de los riesgos económicos más importantes de los cultivos GM es la evolución de la resistencia a las proteínas Cry por parte de los insectos y de los herbicidas por las malezas. La evolución de la resistencia a cultivos GM se ha reportado en diferentes partes del mundo, tanto maíz GM como algodón GM que expresan una única proteína Cry o dos proteínas Cry. Sin embargo, tal resistencia no se ha reportado en México<sup>2</sup>.

Una estrategia para retrasar la evolución de la resistencia es el uso de "refugios", que consisten en parcelas con plantas nativas cerca de cultivos GM. El refugio tiene el propósito de mantener una población de insectos susceptibles, de tal manera que cuando se genera un insecto resistente, este se pueda aparear con los insectos susceptibles dando una progenie que aun sea sensible al algodón GM y la toxina introducida. Además, otra estrategia para evitar la resistencia es usar más de un gen de la toxina Cry. El uso de dos

México que involucra el uso de algodón GM<sup>3</sup>.

## El contraste entre el uso de herbicidas y algodón GM

Los primeros eventos de algodón utilizados contenían genes que daban resistencia al glifosato, esto provocó un uso exhaustivo de este herbicida en campos de algodón GM, con la consecuencia de la evolución por las malezas de la resistencia al glifosato. Actualmente, hay 40 especies de malezas resistentes al glifosato. Por este motivo, se recomienda el uso de algodón GM resistente a herbicidas alternativos como glufosinato de amonio y dicamba, con diferentes mecanismos de acción y otras prácticas de manejo integrado de malezas, a fin de evitar la evolución de la resistencia a los herbicidas.

A pesar de que el algodón GM ha sido cultivado en México por 20 años no existen reportes de resistencia de las malezas a los herbicidas utilizados en el algodón GM<sup>2</sup>. Esto se debe a que los productores mexicanos de algodón utilizan comúnmente la labranza convencional y el cultivo en hilera. Esto no ocurre en

el número de aplicaciones de insecticidas necesarias para lograr un control adecuado de las plagas de lepidópteros en las regiones de algodón de México. La erradicación del gusano rosado ha sido muy efectiva, ya que desde 2007 no ha sido necesario aplicar insecticidas contra este insecto en Chihuahua. Se calcula que no se aplicaron 1.7 millones de litros de insecticida químico debido a la erradicación del gusano rosado. Esto representa un ahorro de más de 207 millones de pesos mexicanos para los productores de algodón<sup>2</sup>. Se sabe que el uso de pesticidas tiene impactos negativos en la calidad del agua y el suelo, la salud, las especies acuáticas y los insectos beneficiosos y otros organismos, por lo que la disminución del uso de pesticidas en el cultivo del algodón GM ha tenido además un impacto ambiental importante. Según la opinión de los agricultores, el algodón transgénico en México, a pesar de sus costos, sigue siendo económicamente rentable y una de las principales fuentes de ingresos en los municipios, ya que reduce las actividades laborales y el uso de vehículos<sup>2</sup>. El impacto