

The background is a dark, monochromatic composition. It features a large, curved, glossy shape that resembles a liquid droplet or a flowing ribbon, curving from the bottom right towards the center. On the left side, there are several spherical objects, some of which are partially visible and appear to be part of a larger structure, possibly a molecular model or a piece of scientific equipment. The overall aesthetic is scientific and modern.

Conferencia científica

AVANZANDO EN EL CONOCIMIENTO SOBRE BIOSEGURIDAD

**Conclusiones científicas
Resúmenes Extendidos
7-9 Octubre 2010, Nagoya, Japón**

Conferencia Científica

Avanzando en el Conocimiento sobre Bioseguridad



Conclusiones Científicas
Resúmenes Extendidos
7-9 Octubre 2010, Nagoya, Japón

Variedades de Maíz Nativo, Maíz Transgénico, Seguridad Alimentaria y Conflictos Culturales en México

*Prof. Antonio Turrent Fernández
Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y
Pecuarias (INIFAP), México y Unión de Científicos
Comprometidos con la Sociedad (UCCS), México*

Origen del maíz y de sus variedades criollas

3

La hipótesis mayormente aceptada sobre el origen del maíz indica que el valle del río Balsas en México es la cuna de su domesticación, hace más de 6.250 años. Una yerba nativa, el Teosinte (*Zea mays* L. subsp. *Parviglumis*), habría sido domesticada como maíz gracias a un evento singular (Matsuoka et al., 2002). A los mesoamericanos les tomó alrededor de 5.000 años desarrollar el maíz moderno a partir de aquel domesticado inicialmente (como lo muestran las espigas encontradas en excavaciones de las cuevas Guilá Naquitz, situadas en el Estado de Oaxaca, que datan de hace 6250 años). Al momento del encuentro entre los dos mundos, el maíz moderno ya era el principal cultivo alimenticio en Mesoamérica. El desarrollo del maíz moderno fue producto de la interacción entre el ser humano y un medio ambiente altamente diversificado. Una variada topografía, clima, suelos y biota interactúan en cortas distancias geográficas en México, resultando en múltiples nichos ecológicos distintos y muy diferentes unos con otros. Muchos de estos nichos fueron poblados por al rededor

de 62 grupos étnicos que usaron los recursos naturales de los ecosistemas para su subsistencia y domesticaron cierto número de cultivos. Su cereal más importante, el maíz, fue introducido en la mayor parte de los asentamientos humanos, aprovechando la diversidad natural de la especie incluyendo el frecuente flujo de genes a partir del teosinte.

Un procedimiento colectivo para el mejoramiento del maíz mientras era usado como alimento (Hernandez X. 1987, 1993) fue desarrollado como un proceso a largo plazo.

Este proceso es conocido como “mejoramiento genético autóctono del maíz” (Turrent et al., 2009) y ha logrado la producción de cerca de 59 variedades criollas de maíz en México con una amplia diversidad intra-varietal (Sanchez et al., 2000). Algunas razas fueron adaptadas a tierras de altura; otras toleraron o sobrevivieron a severas sequías o pudieron prosperar en suelos altamente ácidos o altamente alcalinos. Algunas variedades tuvieron un amplio dominio geográfico; y otras tuvieron una pronta o una retardada maduración. Las 59 variedades comprenden una diversidad de colores de grano, de textura del endosperma, de contenido en proteínas o aceites, etc., que de manera individual les permite ser adecuadas a preparaciones alimenticias pluriculturales.

Los 62 grupos étnicos desarrollaron cerca de 600 preparaciones alimenticias a partir del maíz “nixtamalizado”, además de 300 tipos de tamales (Perez-Sanvicente, 2003). La nixtamalización o fermentación alcalina fue inventada para poder aumentar el valor nutricional del maíz. El maíz ha sido por siglos el cereal básico en México. Después de la colonización, la falta de valorización de la nixtamalización por parte del “conquistador Europeo”, que en ese entonces era un gran descubrimiento biotecnológico, conllevó a la epidemia de pelagra al sur de Europa durante los siglos XVII y XVIII, cuando el maíz se expandió y se convirtió en la base alimenticia de los pobres. Desafortunadamente, la pelagra sigue siendo una amenaza para las poblaciones humanas en ciertas partes de África.

Mejoramiento genético autóctono del maíz

Este es un proceso colectivo de los 62 grupos étnicos de México que incluye: 1) mantener más de una variedad, como entidades separadas en el terreno de cultivo, para satisfacer los usos tradicionales; 2) intercambiar semillas entre vecinos; 3) introducir semillas alopátricas (distintas evolutivamente), realizando una mezcla de semillas con sus propias semillas y los híbridos producidos; 4) plantar la progenie y evaluar el rendimiento; y 5) llevar las mazorcas cosechadas al granero para el proceso de selección de semillas, en donde las mujeres seleccionan aquellas más “propias” a la variedad. Todas estas etapas, hacen un sistema abierto que busca enriquecer la variedad, y lo logra con nuevos alelos que tienen influencia sobre la estabilidad del rendimiento y la calidad del grano, de acuerdo al consenso cultural. Actualmente, existen cerca de 1.5 millones de unidades de pequeña producción que aplican este proceso a las variedades de maíz de manera paralela al mejoramiento. Debido a que las características fundamentales de rendimiento y calidad de grano son naturalmente cuantitativas y están conectadas a regiones específicas del espacio cromosomial, una cantidad importante de recombinaciones son requeridas para romper esas conexiones y acumular los alelos más favorables a través de la selección. Este proceso ha sido aplicado al agroecosistema del maíz por 5.000 años. Las fuentes de semillas alopátricas provienen no solo desde dentro de Mesoamérica sino de tan lejos como Sudamérica. Sin embargo, la evidencia de los últimos 50 años muestra que los híbridos públicos distribuidos en el agroecosistema del maíz han sido usados como material alopátrico para el mejoramiento genético autóctono en las variedades de maíz. La fuente de semilla/polen para el flujo de genes ha sido central en este proceso en el centro de origen del maíz, mientras que la pura fuente de polen juega un rol secundario.

Seguridad alimentaria

El sector agrícola mexicano cuenta con 3.8 millones de unidades de producción que tienen un sistema bimodal: ya sea

como agricultura campesina (individual, normalmente de subsistencia) o agricultura empresarial (a gran escala, comercial). Sesenta y seis por ciento de las unidades de producción son manejadas por agricultores en unidades menores a las cinco hectáreas. Los agricultores empresariales manejan unidades de producción más grandes, modernas y orientadas al mercado. El agroecosistema del maíz en México cubre 8.5 millones de hectáreas que son, en la actualidad, cultivadas con tecnologías no transgénicas. Existen actualmente dos fuentes de tecnología para el maíz en México: la agricultura pre-colombina y la clásica. El sector campesino incluye 62 grupos étnicos, además de una mayoría de agricultores mestizos y una pequeña fracción de agricultores criollos. Estos utilizan tecnología pre-colombina con elementos de agricultura clásica. Las 59 variedades de maíz se producen mayoritariamente como monocultivo, con porcentajes bajo lo óptimo de fertilizantes, pesticidas y herbicidas. Colectivamente, las variedades se adaptan a cualquier condición, desde una marginal hasta una óptima, en el agroecosistema del maíz. Las 59 razas son fundamentales para la seguridad alimentaria rural y son la única fuente para satisfacer las necesidades nacionales en cuanto a maíz, como alimento pluricultural.

Por otro lado, el sector empresarial, sigue el modelo de agricultura industrial, cultivando variedades híbridas no transgénicas obtenidas anualmente a partir de los mercados de semillas privados y públicos. Este sector produce en tierras de calidad, irrigadas o con aguas de temporal. Actualmente sólo 25 por ciento del agroecosistema del maíz está plantado con semillas híbridas compradas anualmente; el 75 por ciento es cultivado con variedades criollas y variedades mejoradas por polinización abierta. Ha sido demostrado que el agroecosistema del maíz en México tiene los recursos para aumentar su producción a 57 millones de toneladas métricas para el año 2025. El consumo actual está estimado en 33 millones de toneladas métricas. Sin embargo, México tiene una creciente dependencia con la producción regional de granos que alcanza el 32 por ciento del consumo estimado. Esta deficiencia explica la iniciativa del gobierno mexicano por plantar comer-

cialmente maíz transgénico en el agroecosistema del maíz. Sin embargo, esta estrategia, erróneamente, ignora el valor crítico de la biodiversidad que permite lograr la auto-suficiencia.

El maíz transgénico y las razas criollas de maíz

Es bien conocido que la tecnología moderna del ADN recombinante conlleva a una inserción aleatoria del locus transgénico. Actualmente, al menos 52 eventos transgénicos independientes del maíz están disponibles en el mercado mundial de semillas transgénicas. Es muy probable que todos o la mayor parte de los 52 loci estén dispersos a través del espacio cromosomal del maíz. Debido a la dispersión de los transgenes, debería ser posible la acumulación de todos ellos en un solo genotipo, a través de la reproducción sexual, a menos de que haya un umbral deletéreo de acumulación que sea menor a 52 loci. También es bien sabido que los constructos transgénicos comerciales son somáticos y no son diseñados para ser regulados por secuencias endógenas de ADN. El promotor transgénico es permanentemente activo y promueve la transcripción en el núcleo y la traducción de los genes transgénicos en el ribosoma en donde compite por energía y otros insumos e interactúa con el ADN residente. Es posible imaginar que uno o varios transgenes en un genotipo no producirán un costo metabólico importante al organismo huésped; sin embargo, podría existir un umbral deletéreo de transgenes acumulado a través del tiempo.

Discusión

La coexistencia del maíz nativo y el maíz transgénico sería casi imposible en el caso de que el maíz transgénico sea cultivado en México a una escala comercial. La conjunción de al menos cuatro factores conllevarían a una acumulación irreversible y progresiva de transgenes en el maíz nativo: 1) el mejoramiento genético autóctono del maíz; 2) una segunda ola de maíz transgénico adaptado a México que sería usado como material genético alopátrico; 3) la biología reproductiva del maíz; y 4) los defectos mencionados anteriormente de la actual tec-

nología de ADN recombinante. A largo plazo (probablemente en 20 años o más), aparecerá el umbral deletéreo de la acumulación de transgenes que reducirá la diversidad del maíz nativo. Si bien las variedades de maíz y su diversidad inter-varietal son importantes para la seguridad alimentaria y para el uso multicultural del maíz como alimento, una limitada lista de híbridos transgénicos o no transgénicos no podrá resolver la seguridad alimentaria para todos, e incluso impactará aún más el uso de los distintos tipos de maíz para su uso multicultural como alimento. El gobierno mexicano recientemente ha otorgado permiso a diferentes consorcios multinacionales para conducir 24 experimentos en campo con maíz transgénico en los estados mexicanos de Sinaloa, Sonora, Chihuahua y Tamaulipas, todos localizados en el norte mexicano. El área usada para estos experimentos cubre cerca de 754.000 hectáreas de maíz irrigado además de 284.000 hectáreas con maíz usando aguas de temporal. Esta región es habitada por cinco grupos étnicos y es cuna de 29 razas criollas de maíz. En concordancia con una ley promulgada en 2005, la adopción del maíz transgénico debe seguir un proceso de tres fases: experimental, piloto y comercial. Debido a la tendencia actual de la comercialización del maíz transgénico en otros lugares del mundo, se puede anticipar que las compañías multinacionales de semillas desearán acortar el proceso de tres etapas y permitir la tecnología transgénica del maíz en todo el país. Algunos sectores dentro de la sociedad civil, la legislatura y la comunidad científica activamente siguen estrategias para formar parte de este proceso y examinar la decisión de la introducción de maíz transgénico en el centro de su domesticación. ¿Quiénes serán los beneficiarios y quienes pagarán los costos?

Conclusiones

1. La tecnología de maíz transgénico no es necesaria para la seguridad alimentaria de maíz para toda la población y para los usos multiculturales del maíz como alimento en México.
2. Las variedades criollas de maíz son necesarias para la

seguridad alimentaria de la población y para los usos multiculturales del maíz como alimento en México.

3. El mejoramiento genético autóctono del maíz asegura la biodiversidad genética del maíz y debe ser protegido de la interferencia y la hibridación con maíz transgénico.

4. Por estas razones, el cultivo y la importación de maíz transgénico debe de ser prohibido en México.

Referencias

- Hernandez Xolocotzi, E. 1987. Experiences leading to a greater emphasis on man in ethnobotanical studies. *Econ. Bot.* 41(1): 6-11. <http://www.springerlink.com/content/cu4h1814p6744207/>
- Hernandez Xolocotzi, E. 1993. La agricultura tradicional como una forma de conservar el germoplasma de los cultivos in situ. In: *Biología, Ecología, y Conservación del género Zea*. B.F. Benz (ed.). Universidad Autónoma de Guadalajara, Guadalajara: 243-256.
- Matsuoka, Y., Vigourox, Y., Goodman, M.M., Sanchez, J., Buckler, E. & Doebley, J. 2002. A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99(9): 6080-6084. <http://www.pnas.org/content/99/9/6080.abstract>
- Perez-Sanvicente, G. 2003. Repertorio de tamales mexicanos, Núm. 15. Colección Cocina Indígena y Popular. Conaculta CNCA-DGCPI-Dirección General de Publicaciones, Mexico, 264pp. http://sic.conaculta.gob.mx/ficha.php?table=publicacion_dgcpi&table_id=107
- Sanchez, J.J., Goodman, M. & Stuber, G.W. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Econ. Bot.* 54(1): 43-59. <http://www.springerlink.com/content/vk00577864773685/>
- Turrent-Fernández, A., Serratos-Hernandez, J.A., Mejía-Andrade, H. & Espinosa-Calderon, A. 2009. Liberación comercial de maíz transgénico y acumulación de transgenes en razas de maíz mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4): 257-263. <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=61011789001>

La berenjena Bt de India: De la Suprema Corte de Justicia a la Ciencia en el Debate Público - Cómo la Sociedad Civil Prevaleció Contra Monsanto y la Agencia Reguladora

Aruna Rodrigues

Demandante en la Suprema Corte de Justicia, India

10

El panorama sigue incompleto. Aun debemos ganar la guerra con el fin de obtener una moratoria para los cultivos genéticamente modificados (GM), debido a que presentan amenazas de bioseguridad que no han podido ser rebatidas, ni usando independientes y rigurosos protocolos de análisis de seguridad por parte de las agencias regulatorias de la India y por la “industria”. Si la aprobación de la berenjena Bt para comercialización por parte de la agencia reguladora, GEAC (Comité de Aprobación de la Ingeniería Genética), no hubiera sido detenida por el Ministro del Medio Ambiente y Bosques, Jairam Ramesh, aquello hubiera significado el “ábrete sésamo” para Monsanto y para la industria biotecnológica, hasta llegar al último de los cultivos alimenticios en India. Ese era el plan. Ese sigue siendo el plan.

La batalla de la berenjena Bt es realmente extraordinaria en todos los sentidos. Me han dicho que no hay otra como ella. Estoy de acuerdo con esta aseveración por dos razones. La primera no es evidente, excepto dentro de India. La respuesta

a la idea de modificar genéticamente un vegetal nacional, el vegetal más importante de India (la papa no es un vegetal), fue una tormenta nacional, con una demostración poco frecuente de cooperación en el país, algo que no se había sido visto desde la independencia de India en 1947. El ministro Ramesh también se embarcó en el que parece ser el primer proceso consultivo democrático con la sociedad civil en India (en el espíritu y tal como lo estipula el Protocolo de Cartagena). El proceso consistió en siete bien manejadas y completamente documentadas consultas públicas conducidas en importantes ciudades de India que fueron seleccionadas cuidadosamente (Anexos I-IV <http://www.moef.nic.in>). ¡Puedo asegurar que esta acción fue valiente! Ramesh fue agobiado sobremedida por esta decisión (profundizaré más en estos aspectos más tarde). La segunda razón es también relativamente desconocida excepto para alguien interno como yo. La batalla de la berenjena Bt es tal vez única porque pertenece a la arena de la cooperación internacional. Las súper estrellas en la galaxia de estrellas en esta fantástica saga, que es más extraña a la ficción, son una raza de seres humanos que también son eminentes científicos internacionales reconocidos en esta especialización. Se subieron las mangas, pusieron de lado un buen trozo de tiempo, quemaron aceite a la medianoche para mantener los plazos impuestos por los horarios de la corte y se sumergieron en el trabajo pesado, trabajo aun más difícil porque debieron proveer y explicar con evidencia científica a alguien ¡que no es científico!; esta evidencia ya ha llenado numerosos volúmenes. Este proceso se inició hace seis años. El grupo central de cuatro, que más tarde se duplicó, y casi triplicó en tamaño por la participación de otros que se unieron a la batalla a través de los años, son: Dr. Arpad Pusztai, Prof. Jack Heinemann, Prof. David Schubert y Dr. Doug Gurian-Sherman. Pero mi especial agradecimiento está reservado para la Providencia quien decide pocas veces develar el futuro. En mi caso, con la buena voluntad de estos ejemplos de amabilidad, si hubieran sabido lo que les estaba reservado, seguramente me hubieran evitado inmediatamente. Recuerdo la primera comunicación que recibí de parte de David Schubert. La miré completamente desconcertada y alarmada. No pude

entender nada de lo que estaba escrito en ella. Finalmente, puse de lado todo trozo de amor propio y le dije a David: “Entiendo los verbos que juntan los nombres. Eso es todo. Sería posible que escriba esto en inglés”. Y lo hizo. Después de esto, todo fue mucho mejor.

Antes de esto, los cultivos GM provocaban noticias sin provocar asombro. Previo al debate sobre la berenjena Bt, existía una ignorancia casi completa con respecto al tema, un desinterés evidente. Pero Monsanto, con sus bolsillos llenos, se hizo pública con sus míticos rendimientos milagro de los cultivos GM, el “éxito” del algodón Bt (el único cultivo GM comercializado en India) y la reivindicación, sin base científica, de que los cultivos GM alimentarían el planeta. Así, la batalla de la berenjena Bt tuvo que ser peleada en el dominio público como si fuéramos a tener éxito. La evidencia en la Corte Suprema, de cierta manera, tuvo que ser catapultada hacia el exterior, manejada en los medios y entendida. Hasta ese momento habíamos fracasado. Fue entonces que algo sucedió para catalizar la esperada agitación por la sociedad civil en India en una escala inesperada. A ese algo le llamo el “desvío accidental”¹. Estoy en Japón, un país golfista, así que esta es una frase que estoy segura debe ser comprendida. Como un genio del “green” del ambiente, Jairam Ramesh fue el hombre perfecto en el lugar perfecto a la hora perfecta, manejando la orquesta de ciencia, sociedad civil y debate público sobre la berenjena Bt. Lo hizo en una historia que tiene toda la magia y la euforia de desviar la pelota de golf hacia un lugar perfecto para una posición de dos bajo par. La coincidencia de ese momento y lugar fue posible, en mi opinión, gracias a diversos eventos en forma de órdenes por parte de la Corte Suprema y una Elección General que ocurrió justo a tiempo. Lo que sigue es la perspectiva desde la cual me sitúo y me he situado por 5½ años en los escalones de la Corte Suprema de India, junto a Prashant Bhushan (el abogado en ese caso), y adelante en la Corte Número 1, en donde el Jefe de Justicia de India preside junto con sus colegas para escuchar,

1 NT: Traducción del inglés “Rub of Green” frase comúnmente usada en golf

entre otros casos, **la Petición de Mandamiento de Interés Público (PIL)** para una moratoria sobre los cultivos GM. La petición de mandato ha tenido sus altibajos que seguramente continuarán, pero sus “altos” han sido pivotes. Estos representan los momentos claves y decisivos que crearon con el tiempo una situación en donde la ciencia en la sala cerrada de la Suprema Corte encontró su camino en la arena pública y de una agitada sociedad civil que tomó esa ciencia, y los medios que en esta ocasión estaban emocionados, debido a este desvío accidental. Estas son las secciones más importantes del proceso.

El PIL y sus “bases”

Las “bases” de la petición de mandato a la Suprema Corte (SC) son: (a) la liberación sin base fundamentada científicamente de organismos genéticamente modificados (OGM) se encontraba en violación de los Principios Directivos de la Constitución de India, específicamente con el artículo 21 en donde el derecho a la salud y a un ambiente sano es un derecho fundamental; (b) el Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad, el protocolo internacional del cual India es un firmante; (c) el Principio Precautorio (también en el PCB), que también ha sido tomado por la ley de India y es un precedente.

13

Las órdenes de la SC: Momentos claves y decisivos

Actuando con una “Solicitud Urgente” archivada en julio del 2006, el Jefe de Justicia ordenó una prohibición interna de todos los ensayos en el terreno en septiembre del 2006. El momento era crucial dado que detuvo la aprobación de los ensayos a gran escala y retardó los planes de la agencia reguladora y de Monsanto, por al menos una temporada de cultivo o cerca de 12 meses.

La orden clave

En febrero del 2007, tuvimos éxito al obtener una orden para que los datos sin procesar sobre la berenjena Bt sean puestos

en el sitio web del ministerio (en el dominio público). Aun así tomó 18 meses (agosto 2008) para que la agencia reguladora, la GEAC, lo cumpliera. En retrospectiva, a pesar del retraso, esto ocurrió a un buen tiempo. Aquí estuvo el momento clave. Mandé un SOS Cuatro científicos me respondieron y enviaron sus críticas como evidencias a la SC: (a) la evaluación crítica de los estudios con animales por Gilles-Eric Séralini; (b) la caracterización molecular y genómica por Jack Heinemann; (c) el flujo de genes hacia parientes silvestres de la berenjena por Doug Gurian-Sherman; (d) la técnica de muestreo y significado estadístico de los datos de los estudios con animales por Judy Carman.

El impacto inmediato de estas evaluaciones fue la de forzar a la agencia GEAC a designar un comité de expertos para evaluarlas, que sería llamado el Comité Experto de la berenjena Bt II (EC II), que fue convocado a principios del 2009.

Lo que siguió

14

A partir de la Elección General en mayo 2009 en donde se eligió a Manmohan Singh como Primer Ministro, Jairam Ramesh fue nombrado Ministro del Medio Ambiente y Bosques. Su nombramiento fue realmente un pivote. Cuando el 14 de octubre del 2009, la GEAC aceptó las recomendaciones del reporte del EC II para comercializar la berenjena Bt, Ramesh al siguiente día dio un paso al frente para obstruirla con una medida provisional de revisión debido a las críticas nacionales al Reporte del EC II. ¡Ramesh llevaba en el puesto solamente 4 meses y medio!

Desde octubre 2009 hasta finales de enero 2010, Ramesh instituyó un proceso en el cual invitó a dar respuestas documentadas al Reporte del EC II por parte de todas los actores interesados, incluyendo la comunidad científica internacional. La iniciativa de Ramesh fue democrática de manera única. Recibió alrededor de dos docenas de evaluaciones científicas. Este resultado fue sorprendente y reflejó la importancia de las implicaciones de liberar el primer cultivo GM para ali-

mento en el mundo, la berenjena, en su centro de diversidad y de origen.

El impacto del proceso de Jairam incitó a los medios de comunicación. En febrero del 2010, India y el resto del mundo ya había escuchado hablar de la berenjena Bt. Los datos científicos de la SC empezaron a filtrarse hacia los Ministerios de la Agricultura, las ONG y las organizaciones campesinas. Cuando las consultas públicas fueron realizadas en enero hasta el 6 de febrero de 2010, la sociedad civil, los campesinos y los gobiernos estatales estaban listos y preparados. Completamente documentadas y grabadas en vídeo, las siete consultas procedieron con un despliegue ceremonioso único en India, el ruido y el polvo, colores y teatro y eventualmente jorden! Se tomaron **631 comentarios** de distintas partes interesadas que reflejaron la perspicacia y el nivel sorprendente de conocimiento científico y de las implicaciones de la berenjena Bt. Los televidentes pudieron seguir en la pantalla las consultas y los debates. La sociedad civil realizó un trabajo sobresaliente de manejo y de diseminación; y la ciencia goteó hacia nuestras ONG y directamente en los hogares campesinos. Diez gobiernos estatales, que incluyeron los mayores centros de producción de berenjena en India Oriental, dijeron “no” a la berenjena Bt. La agricultura en el sistema de gobierno federal de India es un tema estatal. Tenemos 28 estados.

El 9 de febrero del 2010, Jairam Ramesh anunció una moratoria en la aprobación comercial de la berenjena Bt, anunciando la necesidad de mayores ensayos y experimentos sobre su inocuidad, y declaró que fue “receptivo a la sociedad y responsable con la ciencia”. Esta fue una conclusión extraordinaria a la serie, sin precedente, de eventos que convergieron y coincidieron para destronar la berenjena Bt y parar su aprobación para liberación comercial: el Desvío Accidental que sacó a India del borde en el que se encontraba.

Una hora antes de este pronunciamiento, Nina Federoff (consejera de ciencia y tecnología de EUA), quien viajó a India supuestamente para demostrar el apoyo de Estados Unidos a la

berenjena transgénica, había dado un consejo especial para el gobierno de India cuando declaró en televisión que la berenjena Bt era buena para India.

La evaluación de riesgos del reporte del ECII sobre la Berenjena Bt y sus deficiencias

El evento de la berenjena Bt llamado EE-1 codifica un gen quimérico (Cry1 Ac y Cry1 Ab) o de fusión para ser compuesto de tres transgenes:

- *cry1Ac*, el gen para la proteína insecticida (asociado con el promotor heterólogo llamado 35S proveniente del virus del mosaico de la coliflor);
- *nptII*, un gen que confiere la resistencia a un antibiótico; y
- *aad*, otro gen para la resistencia a antibiótico.

La evaluación de riesgos por parte del gobierno fue encontrada deficiente en los campos siguientes:

Salud: La berenjena Bt ha sido modificada para producir una toxina insecticida quimérica “desconocida” que contiene “una secuencia modificada de **CryAb** y **Cry1Ac**. La berenjena Bt contiene entre 16-17 mg de toxina insecticida por kg, mientras que en el maíz Bt la concentración es de 1 mg/g (Séralini)”. El gen *cry* que fue usado era un gen quimérico que provenía de un laboratorio y no de la tierra. El marco para la inocuidad de la berenjena Bt se basaba primordialmente en la suposición de la GEAC de que las proteínas *Cry* tenían una historia de uso inocuo. Sin embargo, como fue comentado por varios reportes ante la GEAC por parte de científicos independientes, esta suposición carece de valor. Las diferentes proteínas *Cry* no tienen una historia de uso inocuo en la dieta de mamíferos y hay una ausencia de artículos para apoyar cualquier aseveración que diga lo contrario. Existen indicaciones de un efecto tóxico posible en hígado y riñones a partir de la planta GM que fueron posibles determinar después de un análisis cuidadoso de las evidencias en el expediente (Respuesta a la EC II sobre impactos en la salud, **Séralini**).

Un solo estudio sobre animales fue realizado con 10 ratas para sustentar la solicitud de Mahyco para la inocuidad del producto para 1.15 mil millones de habitantes en India (10 ratas macho y 10 hembra): Este pequeño tamaño de muestreo es central para la *“insuficiencia del poder estadístico del estudio para encontrar efectos adversos”*. Nuevamente, 90 días es un tiempo inadecuado para determinar los efectos crónicos en la salud a largo plazo, los que incluyen tumores y cáncer y a los 1.15 mil millones de habitantes que consumirían berenjena GM por generaciones. (Dossier de Monsanto, estudio sobre ratas, análisis estadísticos, **Judy Carman**).

Ambos expertos concluyeron que la liberación de la berenjena Bt debería de ser prohibida debido a los serios riesgos potenciales para la salud humana y animal.

Análisis genómicos: Una adecuada evaluación de riesgos incluye un perfil a nivel molecular (genómico) de la planta modificada. Una primera etapa crítica en un proceso comparativo de evaluación de riesgo es la identificación de los riesgos. Esta comienza con una evaluación de la planta GM y es asistida por una completa y precisa descripción de los cambios deseados y no deseados que surgen de la modificación o del proceso de la construcción y aislamiento de la planta modificada. La GEAC no pudo concluir con los datos de Mahyco si existe una sola inserción, sin alguna otra inserción adicional de un tamaño desconocido o de secuencia desconocida. El productor de la berenjena Bt no proporcionó dicha información, y la GEAC no reconoce haber revisado o considerado dicho método ni los datos. De esta manera no fue posible realizar una identificación completa y significativa de los riesgos. (Respuestas a los Análisis Genómicos de la EC II, **Jack Heinemann**).

Flujo de genes: Mahyco no presentó datos que evalúen los riesgos del flujo de genes de la berenjena Bt a los parientes silvestres. La compañía presenta datos que son inadecuados para predecir el flujo de genes. Diversos parientes silvestres de la berenjena se encuentran en India y han sido demostrados

ser sexualmente compatibles con la berenjena. Además, los métodos para prevenir el flujo de genes de los cultivos hacia los parientes silvestres no existen en la actualidad. El flujo de genes entre la berenjena Bt y los parientes silvestres, en caso de que ésta sea comercializada, sería una certeza. (Respuesta a la EC II: Flujo de genes, **Doug Gurian-Sherman**).

Análisis de riesgo ambiental: La berenjena tiene un rol único en la sociedad India. Es una de las hortalizas más importantes del país, especialmente para las poblaciones rurales y urbanas pobres. Cerca del 61% es cultivada en los tres estados orientales de Bengala Oriental, Orissa y Bihar por **agricultores de pequeña escala y de pocos recursos**. Estos estados han prohibido el uso de la berenjena Bt. India es el **centro de la diversidad biológica mundial de la berenjena** con cerca de **2.500 variedades** cultivadas en el país. Algunas variedades locales tienen importantes valores religiosos y culturales.

El evento EE-1 de la berenjena Bt presenta desafíos únicos debido a que la capacidad de evolución rápida de la resistencia es alta. Sin estrategias de manejo de la evolución de resistencia, el fracaso de la berenjena Bt se proyecta dentro de 4-12 años. Se espera que los agricultores mantengan solamente el 10% de los beneficios de la berenjena Bt, pero que mantengan el 63% del aumento debido a las MIP (Manejo Integrado de Plagas) de la berenjena.

La EC II no reconoce este riesgo y el dossier no propone ningún medio efectivo para manejarlo. La evolución de la resistencia a los cultivos Bt es un riesgo real y así es tratado alrededor del mundo (Alcance y suficiencia del análisis de riesgo medioambiental de la GEAC; **David Andow**).

Protocolos internacionales: A pesar de la aseveración de la GEAC, el reporte de la EC II no cumple con las obligaciones internacionales de India bajo todos los tratados correspondientes. Existen dos: (a) India está comprometido por la provisión del Protocolo de Cartagena de Bioseguridad. El Protocolo bajo el artículo 2.2 estipula que las partes deben asegurarse

que el desarrollo, manejo, transporte, uso, transferencia y liberación de cualquier organismo vivo modificado sean realizados de una forma que prevenga o reduzca los riesgos a la diversidad biológica, tomando también en cuenta los riesgos para la salud humana y las implicaciones socio económicas y éticas en el espíritu de los artículos 15 y 26 del Protocolo; (b) La Comisión del Codex Alimentarius: Principios para el Análisis de Riesgos de Alimentos Obtenidos por medios Biotecnológicos Modernos (2003, CAC/GL 45-2003) por su evaluación de los efectos potenciales en la salud humana. La falta de conformidad del reporte de la EC II tanto con el Protocolo de Cartagena como con el Codex, demuestra una seria deficiencia de la evaluación de la EC II.

Estudios sobre toxicidad crónica con animales: La agencia reguladora no requirió nada más que el estudio subcrónico de 90 días con ratas, aunque sean requeridos estudios a largo plazo, multi generacional y de duración de vida completa de animales con el fin de descubrir efectos a largo plazo como cáncer y problemas reproductivos.

Alergenicidad: El ensayo no fue conforme a las recomendaciones del Codex.

Evaluando Riesgos Sistémicos Un Concepto Holístico

*Dr. Broder Breckling
Universidad de Bremen, Alemania y
Universidad de Vechta, Alemania*

20

Riesgo significa la probabilidad de que ciertas decisiones, acciones o eventos específicos puedan conducir a una ganancia deseada o a un daño o deterioro indeseado. Se trata con riesgos en prácticamente todo campo de actividad de la vida humana. Los análisis de riesgo intentan formalizar procedimientos para identificar caminos potenciales en donde los riesgos se pueden desarrollar. Comúnmente, se buscan declaraciones cuantitativas sobre probabilidades.

La evaluación de riesgo de sistemas técnicos se basa en rutinas bien establecidas. Una parte importante es el cálculo de probabilidades de fracaso, basado en experiencias con situaciones similares. Aun para sistemas técnicos complejos, la metodología puede ser expandida al investigar la probabilidad de mal funcionamiento de cualquiera de los componentes involucrados e identificar las probabilidades de las concurrencias. Una base implícita de operación de la evaluación convencional de riesgos es la suposición de una limitación inherente de los eventos negativos: en el peor de los casos, un sistema técnico puede darse por terminado. En el caso de los peligros químicos, las sustancias se diluyen o se degradan conforme pasa el tiempo. En el caso de una contaminación ra-

bioactiva, el material toma más o menos tiempo en descomponerse.

Los Organismos Genéticamente Modificados (OGM) son diferentes. Comparten con los sistemas técnicos la propiedad de ser diseñados para servir a un propósito deseado. Comparten con los sistemas vivos naturales la propiedad de auto-multipliación, de crecimiento, de dispersión, de recombinación y de evolución más allá de lo que originalmente era deseado. El potencial de auto-reproducción significa que la evaluación de riesgos y los análisis de seguridad de los OGM deben de ser más estrictos y más comprensibles que las evaluaciones de los riesgos físicos y químicos y deben de cubrir una gama más amplia de dimensiones de riesgo.

Si tan solo una de las mil millones de semillas oleaginosas de colza, importadas en Japón para procesamiento, se perdiera y diera origen a una población invasiva, el daño resultante podría ser auto-amplificativo y podría volver a crecer. Así que, el nivel de improbabilidad de los eventos no deseados que deben ser evaluados o analizados con anticipación debe de ser muy bajo.

Existen básicamente dos tipos de categoría de riesgos que deben de ser distinguidos: los *riesgos elementales* y los *riesgos sistémicos*. Los riesgos elementales son aquellos que se basan en una relación directa de causa y efecto y pueden normalmente ser calculados en términos probabilísticos. La ganancia y la pérdida en las apuestas o la frecuencia de incidencia de accidentes de automóviles pueden ser considerados como riesgos elementales. Los riesgos sistémicos son diferentes. Estos riesgos no se basan en una interacción sencilla o por cadenas directas de causa y efecto sino en la superposición y en la cooperación (o co-funcionamiento) de un gran número de eventos individuales, los cuales de manera aislada podrían no ser dañinos. Los riesgos sistémicos (algunas veces llamados riesgos emergentes) se originan cuando un gran número de eventos elementales se juntan en un contexto particular de condiciones de demarcación y traen consigo cualitativa-

mente nuevos efectos a un nivel más elevado de organización. El embotellamiento vial puede ser considerado como ejemplo: cualquier conductor puede ir por cualquier ruta cuando actúa de manera aislada y nadie más es tomado en consideración. Sin embargo, si un gran número de conductores intenta ir en la misma dirección al mismo tiempo, podrían bloquearse entre ellos. Una recesión crediticia puede ser un ejemplo de riesgo sistémico que ocurre en la economía.

Ambos tipos de riesgos deben de ser considerados con los OGM. La evaluación de riesgo de los OGM debe tomar en cuenta todos los tipos relevantes de interacciones en las cuales los organismos pudieran verse involucrados. La evaluación de riesgos de un OGM debe inicialmente estar basada en el conocimiento de las propiedades bióticas de las líneas parentales y en el rol del material hereditario usado para la transformación genética. Las alteraciones moleculares y los cambios bioquímicos y fisiológicos inducidos sirven como punto inicial para el análisis. Es evidente que algunos, pero no todos, efectos potenciales pueden ser investigados o detectados a nivel molecular en donde la transformación genética es realizada. Esto se debe al hecho de que la modificación en sí misma opera a nivel molecular pero tiene la intención de mostrar los efectos a nivel del organismo individual.

La consideración de los efectos potenciales sistémicos tiene una implicancia importante. Puede ser usada para desarrollar un marco conductor para la organización de la evaluación de riesgos en conjunto, al enfocarse en la conectividad de los efectos que pueden potencialmente adicionarse y obtener resultados no deseados. Una evaluación sistemática necesita seguir la organización de las ciencias, en particular de las ciencias biológicas. Esto "automáticamente" trae consigo el nexo de evaluar una red de elementos así como de interacciones sistémicas. Esto se debe a que los diferentes niveles de organización biológica están interconectados y todos tienen sus propiedades particulares, propiedades emergentes, que representan las características específicas por nivel. Cada nivel necesita de conocimiento especializado, de terminolo-

gía específica y de métodos para capturar las propiedades particulares del nivel.

Si brevemente cruzamos a través de los niveles de organización biológica para la evaluación de riesgo de un OGM, debemos pasar por las siguientes “estaciones”:

- El nivel de las *interacciones moleculares* que tienen lugar en la célula. Los procesos metabólicos celulares pueden ser capturados de manera relevante al emplear métodos bioquímicos integradores, por ejemplo, existen métodos metabólicos para cuantificar un gran número de metabolitos de forma sincronizada.
- El nivel de interacciones a nivel intra-organismo de las células, los tejidos y los órganos hasta el nivel del *individuo*. Entre los diferentes métodos usados en este nivel se encuentran los métodos histológicos, la evaluación del rendimiento de crecimiento y la calificación fenológica.
- El nivel de las poblaciones individuales, con sus características de distribución especial, de distribución por edades, de dispersión y otras, son evaluadas usando métodos bien establecidos de ecología de *poblaciones*, incluyendo el análisis de la viabilidad de poblaciones.
- El nivel de las *interacciones entre organismos*, interacciones bitróficas, tritróficas y multitróficas son muy importantes. Para los OGM es particularmente relevante la interacción del OGM con los organismos objetivo y no objetivo. La autecología de diferentes especies, la competencia taxonómica y la experticia fisiológica son algunas de los varios requisitos requeridos en este nivel.
- Al nivel del *ecosistema* toma lugar en particular una investigación integral de biodiversidad, la composición de la comunidad de organismos y el flujo de energía y la transferencia de material. Los servicios de los ecosistemas también son evaluados en este nivel: efectos del ecosistema funcionando con servicios de polinización, autoregulación del estimado de agua, retención de nutrientes y las funciones y servicios de los ecosistemas deben ser evaluados.
- *El paisaje y el contexto regional* se encuentran en un nivel superior. El cultivo de OGM puede tener implicaciones para la

estructura del paisaje y para el sistema global de uso de tierras, lo que debe ser evaluado. Las relaciones vecinales a una escala más amplia requieren de una evaluación a este nivel. El flujo de genes a través de la polinización cruzada de los cultivos y los procesos de dispersión, entre diferentes ubicaciones y ecosistemas, normalmente necesitan involucrar los conocimientos especializados de la ecología del paisaje.

- Asociadas a los procesos de paisaje, se encuentran las implicaciones socio económicas. Los cambios en los patrones de uso de tierras y las implicaciones para la sustentabilidad del sistema usado son de interés crucial, por ejemplo para las regulaciones que no se focalizan al nivel de las granjas individuales o de las ubicaciones del ecosistema, pero que requieren su aplicabilidad a través de extensiones espaciales más grandes.

Se debe enfatizar que tal metodología sistémica en análisis de riesgo de OGM no ha sido establecida como norma, ni por las compañías biotecnológicas ni al nivel de las autoridades competentes en el proceso de aprobación. Hasta ahora, la evaluación de riesgo de OGM opera en una base frágilmente estructurada colectando ideas específicas a nivel de caso, que en su mayoría permanecen incompletas, en particular con respecto a la caracterización del medio ambiente receptor, lo que es un requisito para el Protocolo de Cartagena, por ejemplo. El método de sistematización que es propuesto aquí, facilita una revisión dirigida sobre lo que es necesario investigar antes de una liberación deliberada o de la puesta en el mercado. Lo que se necesita es asignar el nivel de organización correspondiente a todas las investigaciones ejecutadas durante la evaluación de riesgo. Esto ayuda a proponer una sinopsis para identificar lagunas de conocimiento aún existentes:

- ¿Han sido suficientemente entendidos en todos sus detalles los cambios metabólicos primarios y secundarios en el OGM?
- ¿Ha sido estudiado el comportamiento del organismo en el medio ambiente pretendido, con respecto al parámetro potencialmente afectado?
- ¿Han sido estudiados de una forma satisfactoria los efectos

en los organismos objetivo y no objetivo?

- ¿Existen implicaciones en el ecosistema en particular con la sustentabilidad de los sistemas cultivados y los servicios de los ecosistemas?
- ¿Ha sido caracterizado y evaluado de manera sistemática el medio ambiente receptor?

El contestar estas preguntas arroja una visión general, no sólo de lo que ya ha sido hecho, sino también sobre las interacciones sobre terreno que no han sido examinadas todavía.

¿Es éste un enfoque holístico?

- **No**, en el sentido de que ningún procedimiento de evaluación no ejecutable sería completamente comprensible. No proveería "seguridad absoluta" y certeza de que cualquier riesgo posible pueda ser anticipado y evaluado con antelación.
- **Sí**, en el sentido de que cualquier pregunta o asunto potencial tiene un emplazamiento bien definido en un sistema en donde es esperado. Esto aumenta la probabilidad de identificar las deficiencias relevantes existentes y requerir del conocimiento experto. Permite una evaluación más crítica y mejor informada.

La metodología propuesta es dirigida y se basa en ciencia. Sería irracional argumentar que cualquiera de los niveles de organización enunciados aquí no fuera relevante para la evaluación de riesgos. La experticia en todos estos niveles es requerida de manera constitutiva para una evaluación de riesgos de acuerdo con el estado actual de la tecnología. Esto tiene implicaciones institucionales significativas. La evaluación de riesgos de OGM no puede ser manejada como una tarea de los "especialistas en OGM" con un perfil de capacidades homogéneas. Es prácticamente imposible cubrir la experticia a partir del nivel molecular al nivel del paisaje abarcando la agricultura y el amplio rango de relaciones ecológicas, sin tomar en cuenta el espectro completo de conocimientos especializados. Se debe solicitar que para una evaluación com-

petente se cubra la experticia en ambos lados, tanto del solicitante así como de los evaluadores de riesgo de las autoridades. En casos prácticos, esto normalmente requiere la participación de una red de instituciones -no solo de una sucursal o departamento especializado en OGM-. El servicio de protección de los cultivos de un país, la agencia de conservación, la experticia agronómica, el servicio meteorológico para propósitos específicos del análisis del uso de tierra, y datos de lectura a distancia pueden ser requeridos para contribuir a la imagen global.

Un vistazo a la práctica institucional actual sugiere que existen muchas oportunidades y espacios para mejoras. Una cobertura sistemática de las dimensiones relevantes de riesgo requiere de un alargamiento estructural de la participación de los diferentes niveles de experticia en la evaluación.

Como una perspectiva, la presentación señala temáticas que han sido desatendidas en la evaluación de riesgos, en particular con respecto al análisis de paisaje. La dispersión no deseada tiene un rol primario. Si los OGM se dispersan afuera del emplazamiento deseado de cultivo, ¿qué hacemos con ellos? En principio, deberíamos saber precisamente todo lo que puede traer consigo, así como los efectos no esperados y no deseados -incluyendo efectos combinatorios que pueden resultar de las interacciones en un medio ambiente modificado.

La Buena Ciencia²

Evaluación de las Solicitudes Enviadas a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria

*Dr. Andreas Heissenberger
Umweltbundesamt –
Agencia de Medioambiente de Austria, Austria*

Antecedentes

27

EN la Unión Europea (UE), se ha establecido un sistema centralizado de evaluación para la autorización de los organismos genéticamente modificados (OGM) el cual ha entrado en vigor en noviembre 2003. Este sistema, de acuerdo con la Regulación (EC) No 1829/2003, le da un rol central a la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (en inglés EFSA), localizada en Parma, Italia. Las unidades administrativas de la EFSA son apoyadas por Paneles Científicos que consisten en alrededor de 20 expertos independientes con experiencia en diferentes campos relacionados a la evaluación de riesgo. El Panel de OGM es responsable de evaluar los datos provistos por los solicitantes en el proceso de autorización. Basándose en estos datos el Panel de OGM redacta una opinión, que se convierte en el reporte final de la evaluación y en el cual se basa la decisión sobre su autorización. Los 27 Estados Miembros pueden proporcionar comentarios pero no están directamente involucrados en la redacción de la opinión.

2 NT: Traducción del inglés Sound Science

En el documento directivo de la EFSA para la evaluación de riesgo de las plantas GM (EFSA, 2006), la EFSA describe su misión como: *“...las evaluaciones de riesgo de EFSA proveen a los gestores de riesgo (instituciones de la UE con responsabilidad política, por ejemplo la Comisión Europea, el Parlamento y el Consejo Europeo) con una base científicamente buena para definir las medidas legislativas dirigidas por las políticas o medidas regulatorias que son requeridas para asegurar un alto nivel de protección al consumidor con respecto a la seguridad de los alimentos y los forrajes.”*

Esta llamada “buena ciencia” también se refleja en la Directiva 2001/18/EC sobre la liberación deliberada de OGM en el ambiente, en donde se puede leer en el Anexo II: *“...los siguientes principios generales deben de ser seguidos al desarrollar una e.r.a. [evaluación de riesgo ambiental]: ...las e.r.a deben ser llevadas a cabo de una manera científicamente buena y transparente basada en los datos científicos y técnicos disponibles”.*

Para los OGM esto significa que la opinión redactada por el Panel de OGM debe estar basada en “buena ciencia”, y en un escalón más abajo que los solicitantes deban proveer datos basados en experimentos y ensayos que hayan sido diseñados de acuerdo a los más altos estándares de calidad. Algunos Estados Miembros dudan que este sea siempre el caso y por esa razón la Agencia Federal Alemana para la Conservación de la Naturaleza comisionó a la Agencia Medioambiental de Austria para llevar a cabo un estudio sobre la calidad científica de los datos suministrados en los expedientes de los solicitantes.

La Evaluación de la información suministrada

El estudio (Dolozel et al., 2010) se enfocó en los datos para la evaluación de riesgo ambiental. La seguridad alimentaria, la toxicología y otros temas relativos fueron dejados fuera del estudio. De esta manera la evaluación solo obtuvo solicitudes para el cultivo, para las cuales los datos incluidos deberían de

cumplir los requerimientos marcados por la Directiva 2001/18/EC. Las solicitudes para siete diferentes eventos de maíz GM, de una papa GM, y de un tipo de colza fueron analizadas y las principales deficiencias y fallas para diferentes categorías de evaluación fueron identificadas.

Un número particular de problemas específicos han sido señalados además de diversas temáticas que se cruzan, como la extrapolación de los datos de otros OGM o de otros países/continentes, la documentación insuficiente de los experimentos, la falta de distinción entre los datos publicados y aquellos que no fueron, así como las referencias cruzadas entre las distintas solicitudes para los diversos OGM. Algunos ejemplos son descritos a continuación:

Comparadores son esenciales para una evaluación de riesgo comprensible ya que forman parte de la línea de base para diversos parámetros. Los comparadores usados no son en la mayoría de los casos descritos en detalle. Solo para dos de los nueve OGM que se analizaron en este estudio, se incluyó en el dossier la historia e información del comparador. Para todos los dossiers, la descripción fue bastante vaga, por ejemplo “línea isogénica cercana” o el nombre del híbrido era dado, sin más detalles de cómo este híbrido tenía relación con el OGM bajo estudio. En tres notificaciones no se incluyó ninguna evaluación agronómica de los comparadores. Con respecto al tratamiento comparativo en el caso de los OGM resistentes a herbicida, se observó una gran variabilidad de las diferentes estrategias utilizadas. Se pudo observar el uso de distintos herbicidas y distintas proporciones de parcelas tratadas y no tratadas con herbicida. En muchos casos, la descripción de las diferentes pruebas sobre campo y su tratamiento así como la recopilación de datos no fueron suficientes.

Los datos que derivan de las **pruebas de campo** son la base para la evaluación de diferentes parámetros, desde el rendimiento agronómico hasta el análisis de composición y los efectos ambientales. Es por eso que el montaje y la descripción detallada de la prueba y de la selección de los medio

ambientes son cruciales. Sin embargo, la metodología (talla, número de parcelas, comparadores utilizados, etc.) varió considerablemente entre las distintas pruebas sobre campo, aun en la misma solicitud, y algunas veces fue presentada de una manera incomprensible. No se dan justificaciones sobre la elección de ciertos medio ambientes para las pruebas sobre campo, ni sobre cómo los datos que derivan de estos estudios reflejan los "ambientes receptores", en este caso, en Europa.

En algunos casos, el **análisis estadístico** de los datos no se basó en un entendimiento científico general, esto quiere decir que los datos fueron agrupados, por ejemplo por emplazamientos y por años, mientras que otros datos no fueron incluidos en el análisis, por ejemplo al considerar sólo una de las tres temporadas de cultivo. No se da ninguna justificación para explicar por qué se usó este tipo especial de enfoque, tampoco se incluye una descripción para saber si se cumplía con las precondiciones del uso de esas pruebas estadísticas (por ejemplo la distribución normal de los datos), ni se proporciona la robustez estadística del montaje experimental.

En los experimentos sobre los efectos en **organismos no objetivo**, se observó una gran variabilidad de estrategias y metodologías con respecto al nivel de contención y al material usado para el experimento (la proteína aislada o diferentes partes de la planta). Si bien es cierto que la mayoría de los estudios usaron más de un tipo de montaje, para algunos OGM los experimentos solo fueron realizados en el laboratorio (usando condiciones artificiales), mientras que otros sólo investigaban los efectos posibles en el terreno, faltando datos de laboratorio básicos y cuantificables. Los organismos seleccionados para los estudios generalmente eran similares, incluyendo abejas, lombrices, larvas de la crisopa, lepidópteros (usualmente la mariposa monarca, la cual por cierto no vive en la UE) y algunos otros. La evaluación a la exposición sólo se llevó a cabo en tres de los nueve estudios. No se dio una atención particular a las especies en vías de extinción, y en ningún caso se utilizó en los estudios especies en peligro de extinción en Europa. De manera general, se observa que las especies

fueron seleccionadas para el estudio de acuerdo con sus grupos taxonómicos y no por grupos funcionales. Ninguna estrategia sistémica fue usada para la selección.

Los diferentes medio ambientes regionales tampoco fueron tomados en cuenta dentro de los estudios realizados. La mayoría de las pruebas sobre campo se llevaron a cabo en Estados Unidos y en Sudamérica. Esto significa que muy pocos datos, y en algunos casos ninguno, sobre los medio ambientes receptores (Europa) fueron incluidos en los dossiers. Los pocos datos sobre Europa fueron agrupados con los datos no europeos en los análisis estadísticos, haciéndolos inaccesibles para una evaluación detallada.

No existe una definición generalmente aceptada de la "buena ciencia", así como los resultados científicos son siempre puestos bajo escrutinio. Siempre existen discusiones entre científicos con respecto a resultados conflictivos y a los diferentes enfoques y metodologías científicas. Sin embargo, estos ejemplos muestran que con respecto a la evaluación de riesgos de OGM algunas veces no se siguen ni siquiera los principios científicos de base, que incluyen el montaje experimental, el análisis de datos y la presentación e interpretación de resultados; lo que demuestra una necesidad urgente de mayor estandarización, que pueda conducir a mejores estándares de calidad.

Desarrollos recientes

Desde la finalización del estudio en 2009 han habido ciertos desarrollos, especialmente con directivas más detalladas y requerimientos más estrictos para los solicitantes. En marzo 2010, la EFSA publicó un documento preliminar con directivas para la evaluación de riesgo ambiental, lo que es considerado un paso muy importante hacia la dirección correcta (EFSA, 2010). Este documento toma en consideración al menos algunos de los problemas ya identificados y contiene requerimientos más detallados, como el estudio de los efectos sobre organismos no blanco (por ejemplo estudios con la planta completa, se-

lección de los organismos para el estudio en relación a su grupo funcional), directivas para la base estadística de las pruebas sobre campo (al requerir un cierto número de emplazamientos para el estudio así como replicaciones), asimismo incluye también directivas que aún son rudimentarias, sobre cómo tomar en consideración las características regionales. También muestra los tipos de comparadores que pueden ser usados en los estudios. Un revés importante de este documento es la falta de directivas con respecto al monitoreo después de la comercialización. Sin embargo, de acuerdo con la Comisión Europea y la EFSA, esto será tratado en una siguiente etapa. Actualmente, el documento se encuentra en una revisión final y será propuesta a la Comisión Europea en noviembre 2010.

Conclusiones

Aunque la UE haya establecido reglas muy estrictas sobre la manera de conducir las evaluaciones de riesgo y tenga en sus manos distintos documentos con directivas, que deben ser respetadas por los solicitantes, el mayor problema continúa siendo una implementación insuficiente. Para la evaluación de riesgos de OGM esto significa que los datos necesarios no son entregados o son incompletos y que las conclusiones que se derivan no se basan en ciencia sino en extrapolaciones u opiniones. Desafortunadamente esto ha sido aceptado en muchos casos por la EFSA y por el Panel en OGM. Esto significa que ni siquiera las autoridades responsables han aplicado correctamente la legislación y sus propias directivas. Al menos se ha realizado últimamente cierto progreso hacia mejores directivas y una aplicación más estricta. La definición de “buena ciencia” es la base para la evaluación de riesgos de OGM y por lo tanto en tanto que base para la toma de decisión no debe ser sujeta a la interpretación por los solicitantes o por cualquier grupo de científicos que sean miembros de un panel o comité de bioseguridad. Los requerimientos en cuanto a los datos, así como estándares mínimos de calidad, como la formulación del problema, el poder analítico o la definición de comparadores, deben de ser definidos con una base científ-

fica. Sin embargo, una vez definidos, los estándares científicos y de calidad necesitan tener seguimiento y ser implementados por los cuerpos competentes, con el fin de asegurar un cierto grado de seguridad para los consumidores y el medio ambiente.

Referencias

- Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC - Commission Declaration. OJ L 106, 17.4.2001, pp. 1–39. <http://tinyurl.com/27nm3c>
- Dolezel, M., Miklau, M., Eckerstorfer, M., Hilbeck, A., Heissenberger, A. & Gaugitsch, H. 2010. Standardization of the environmental risk assessment of genetically modified plants in the EU. BfN Skripten, Bonn, Germany. <http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/service/Skript259.pdf>
- EFSA. 2006. Guidance document of the Scientific Panel on Genetically Modified Organisms for the risk assessment of genetically modified plants and derived food and feed. The EFSA Journal 99: 1-100. <http://www.efsa.europa.eu/de/scdocs/scdoc/99.htm>
- EFSA. 2010. Guidance on the environmental risk assessment of genetically modified plants. The EFSA Journal, in press.
- Regulation (EC) No 1829/2003 of the European Parliament and of the Council of 22 September 2003 on genetically modified food and feed. OJ L268, 18.10. 2003, pp. 1-23. <http://tinyurl.com/>

Cultivos Bt – Controversias Alrededor de la Ciencia Necesaria para la Evaluación de Riesgos

*Dr. Angelika Hilbeck
Instituto Federal Suizo de Tecnología,
Instituto de Biología Integrativa, Suiza
y GenØk – Centro de Bioseguridad, Noruega*

A pesar de 15 años de producción de los cultivos genéticamente modificados (GM) a una escala industrial por lo menos en cinco países, no existe un consenso con respecto a las metodologías para la aplicación de las evaluaciones de riesgo ambiental (ERA) y mucho menos, procedimientos estandarizados. Pero todas las regulaciones sobre los organismos GM hacen llamado a la realización de evaluaciones de riesgo. Por consiguiente, haré una revisión de la aplicación actual de la evaluación de riesgo en relación con los cultivos GM así como la identificación de las principales deficiencias que proponemos mitigar con un concepto alternativo de las ERA para las plantas GM.

Las ERA actualmente se centran solamente en la nueva característica expresada por los transgenes introducidos y por las nuevas sustancias (por ejemplo toxina Bt) producidas en la planta GM. Esta interpretación actual de las regulaciones de las plantas GM, incluyendo aquellas provenientes del Proto-

colo de Cartagena, es usada como precedente por la regulación de los Estados Unidos (Mendelsohn et al. 2003) y toma base en el concepto de "equivalencia sustancial" de las plantas GM y de sus contrapartes no modificadas (FAO/WHO 1996, OECD 2000). A pesar de que los documentos de consenso de la OECD sobre las consideraciones, acerca de la composición de las sustancias, han sido publicados para varios cultivos, no existen directivas obligatorias en cuanto a lo que se debe analizar o sobre qué tan similares deben de ser los valores para que se pueda considerar como "equivalente". Por ejemplo, el grado de diferencia aceptable entre una variedad cultivable parental no transformada de la misma especie de planta y el evento GM no está definido (Millstone et al. 1999). Muchas veces los datos de equivalencia sustancial tienen diferencias significativas aun fuera de los rangos reportados para otras variedades cultivables (algunas veces históricas) pero son descartadas como "irrelevantes biológicamente". El concepto de equivalencia sustancial (o familiaridad) se encuentra por lo tanto debatido con respecto a su relevancia dentro de las evaluaciones de bioseguridad ya que es usado como filtro inicial con respecto a los efectos inesperados (Royal Society of Canada 2001; Freese and Schubert 2004). De acuerdo con los desarrolladores de las plantas GM y de algunas agencias reguladoras de ciertos países, la declaración de equivalencia sustancial legitima la falta de estudios y análisis a excepción de los efectos agudos a corto plazo de la toxina aislada producida en microorganismos (García-Alonso et al. 2006; Romeis et al. 2008).

Un concepto mejorado de ERA para la evaluación de los efectos potenciales adversos de las plantas GM ha sido propuesto en base al tipo de OGM y del medio ambiente receptor, orientándolo hacia el sistema con la planta GM en el centro. La estrategia de análisis propuesta se construyó como resultado del "Proyecto OGM ERA" realizado por un grupo internacional de científicos del grupo de trabajo global "Organismos Transgénicos en MIP y Biocontrol" bajo el auspicio de la IOBC (Organización Internacional de Control Biológico) (Hilbeck and Andow 2004, Hilbeck et al. 2006, Andow et al. 2008).

La estrategia siguió siendo desarrollada e introducida en las disposiciones de la UE para ERA de plantas GM (EC 2001 y 2002) en un proyecto comisionado por la Agencia Federal Alemana para la Conservación de la Naturaleza (Hilbeck et al. 2008). El concepto se enfoca en análisis secuenciales desde el laboratorio hasta el campo y es preceptivo con respecto al procedimiento desarrollado para la selección de los organismos que serán estudiados y que aparecen en el medio ambiente receptor y los protocolos apropiados para estudiarlos. Además, incluye los efectos adversos potenciales que pueden surgir de la exposición directa o indirecta a la planta GM completa y a partir de factores estresantes secundarios que se requieren para obtener los beneficios o los efectos esperados de la planta GM, tales como la aplicación de un amplio espectro de herbicidas.

Identificación de Peligros

La información sobre la biología, la ecología y del uso espacio/temporal agronómico (así como sus limitaciones de uso) de la planta GM es compilada. Esta incluye información comprensible sobre la caracterización molecular de la planta GM, su material genético introducido y la expresión de las nuevas proteínas en tejidos específicos. La información sobre los efectos inesperados incluye datos sobre el problema que intenta resolver la propuesta planta GM, datos sobre la eficacia de la planta en resolver el problema, la severidad del mismo, a quien afecta principalmente y que tan difundido es. Para realizar esto de una manera inclusiva y transparente, los científicos han desarrollado un proceso probado con el uso del ERA en organismos GM (Hilbeck & Andow 2004; Nelson & Banker, 2007). Tal proceso sistemático permite identificar los principales usuarios de la planta GM, así como estimar las tasas de adopción y la extensión del OGM después de su liberación. Esto permite delinear los potenciales ambientes receptores y centrar el análisis en aquellos en donde la adopción se espera mayor, con la presunción de que los efectos potenciales adversos al medio ambiente se manifestarán en donde el cultivo GM es realizado con mayor frecuencia y difusión.

Selección de las especies de estudio

En las evaluaciones de riesgo actuales, los estudios ecotoxicológicos que se llevan a cabo con las plantas Bt siguen de cerca las metodologías desarrolladas para los químicos ambientales como los pesticidas. Ciertos organismos de estudio son escogidos a partir de una lista universal estándar de especies que son representativas de los niveles tróficos en general, en lugar de estar presentes en ciertos ambientes receptores (Hilbeck & Andow 2004). Nuestra metodología propuesta para el estudio de los organismos no blanco es preceptiva con respecto al uso de un procedimiento para la selección de las especies de estudio y el desarrollo de protocolos de estudio apropiados y de hipótesis de riesgo hechas a medida para cada caso y para cada ambiente receptor.

Evaluación de la exposición: a partir de las vías hasta los panoramas y los protocolos

Para las especies que están clasificadas en lo más alto del componente anterior, el análisis de la exposición se conduce para determinar si es posible o no y hasta qué nivel las especies se encuentran en contacto tanto con su factor estresante primario, es decir la planta GM incluyendo el producto del transgen o la composición alterada de los compuestos primarios metabólicos, como con cualquier factor estresante secundario que sea requerido para realizar la función transgénica de la planta GM, por ejemplo, el herbicida de amplio espectro para las plantas GM tolerantes a los herbicidas. Debido a que las plantas GM se pueden multiplicar y esparcir por el flujo de polen y semillas, este ejercicio difiere significativamente de un análisis de exposición con químicos, al mismo tiempo debe incluir un análisis sobre la dispersión de las plantas GM en otros ecosistemas, incluyendo los sistemas acuáticos. Actualmente, existen muy pocos datos (a veces ninguno) sobre los ciclos biogeoquímicos, la dispersión y el destino de los productos del transgen en los ecosistema del suelo y del subsuelo de los ambientes receptores y del potencial cambio en su actividad biológica y en sus metabolitos en los variados medios

ambientales. Algunos estudios publicados actualmente han confirmado la sospechada dispersión de las toxinas Bt a través de las cadenas alimenticias (Harwood et al. 2005; Zwahlen & Andow 2005; Obrist et al. 2006; Harwood et al. 2007). Sin embargo, la actividad biológica de estos metabolitos sigue siendo desconocida hasta ahora. Algunos experimentos estudiaron el impacto del material de plantas Bt en organismos del suelo con resultados muy variables desde la observación de algunos efectos transitorios hasta no observar ningún efecto (ej. Zwahlen et al 2003; Blackwood & Buyer 2004).

Determinación del efecto: haciendo el estudio y generando los datos

La etapa principal en esta sección es la implementación del plan de estudio desarrollado anteriormente. Sin embargo, existe controversia sobre si la evidencia de las "razones de preocupación" debe de ser experimental o puede ser extrapolada a partir de la teoría y de la experiencia en otros campos de la ciencia (Zwahlen & Andow 2005; Andow et al. 2006; Garcia-Alonso et al. 2006; Lang et al. 2007; Romeis et al. 2008). También es tema de debate si la ausencia o no de "razones de preocupación" constituye evidencia de la inocuidad y por consecuencia, no son necesarios más estudios a otros niveles. Se debe producir a cada nivel de estudio datos documentando/confirmando la falta de evidencia sobre los efectos adversos dado que las plantas GM y sus productos bioquímicos pueden tener diferentes propiedades en diversos medios y en distintos medios de organización ecológica.

La caracterización del riesgo: sintetizando toda la información

En este componente del marco de ERA, el riesgo es caracterizado al combinar y comparar la información y los datos obtenidos. Mientras que el énfasis es puesto en los datos cuantitativos, toda la información cualitativa obtenida también está integrada aquí. El resultado de las actividades de este componente es una lista de riesgos potenciales con una estimación de su fuerza (alta, moderada o baja) que hayan

sido confirmados experimentalmente. Las hipótesis sobre potenciales efectos adversos que hayan sido rechazadas y que puedan ser mostradas como poco probables o menores o no existentes son excluidas. De igual manera, se identifica aquí la delimitación de la ERA y de la documentación transparente del resto de las incertidumbres. A partir de esto, se puede derivar la dirección de las posibles estrategias de manejo de riesgo y de plan de vigilancia. Con esta propuesta, estamos en desacuerdo con la propuesta de que la ERA para los OGM pueda ser de manera completa un ejercicio de escritorio basado en los “datos obtenidos para otros propósitos” y no puedan requerir la “adquisición de nuevos datos” como fue propuesto por los desarrolladores (Raybould 2006; Raybould 2007). Esto nos lleva a la situación actual en la que nuevas variedades cultivables de maíz GM combinando y apilando diferentes toxinas Bt por cruces convencionales de distintas variedades de maíz GM, hayan entrado al mercado sin el control y el análisis apropiado. Un evento de maíz Bt llamado “Smartstax” (AGBIOS GM database 2009) que combina 6 toxinas insecticidas de Bt y genes de resistencia a dos herbicidas de amplio rango, pueda entrar en el mercado con muy poco estudio sobre los impactos tóxicos y ambientales al depender casi enteramente de las “evaluaciones de riesgo ambiental de los eventos individuales” -a excepción de un estudio adicional con un organismo no objetivo no identificado y de los cuales los resultados no fueron ni siquiera resumidos (EPA OPPTS 7501P)-. A nuestro parecer esto no se basa en ciencia, le falta la precaución requerida y reposa en la fase de comercialización (en el productor y el consumidor) del descubrimiento de toda interacción potencial y efectos acumulativos, indirectos y de largo plazo de la mezcla combinada de las 6 toxinas y de los 2 residuos de herbicidas en la salud humana y animal.

Referencias

- AGBIOS GM Database. 2009. MON-89Ø34-3 x DAS- Ø15Ø7-1 x MON-88Ø17-3 x DAS-591 (MON89034 x TC1507 x MON88017 x DAS-59122-7). <http://www.agbios.com/dbase.php?action=ShowProd&data=MON89034+x+TC1507+x+MON88017+x+DAS-59122-7>
- Andow, D.A., Lövei, G. & Arpaia, S. 2006. Ecological risk assessment for Bt crops. *Nature Biotechnology* 24: 749-751.

- <http://www.nature.com/nbt/journal/v24/n7/full/nbt0706-749.html>
- Andow, D.A., Hilbeck, A. & Nguyen Van Tuat (eds.) 2008. Environmental Risk Assessment of Genetically Modified Organisms, Volume 4, Challenges and Opportunities with Bt Cotton in Vietnam. CABI Publishing, Wallingford, UK. <http://www.gmoera.umn.edu/public/publications/books.html>
 - Blackwood, C.B. & Buyer, J.S. 2004. Soil microbial communities associated with Bt and non-Bt corn in three soils. *Journal of Environmental Quality* 33: 832–836. <http://ddr.nal.usda.gov/dspace/bitstream/10113/9123/1/IND43676450.pdf>
 - EC. 2001. Directive 2001/18/EC of 12 March 2001 on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EC, 17.4.2001, Official Journal of the European Communities L 106/1-38. http://ec.europa.eu/food/food/biotechnology/gmo_intro_en.htm
 - EC. 2002. Commission Decision 2002/623/EC of 24 July 2002 establishing guidance notes supplementing Annex II to Directive 2001/18/EC of the European Parliament and of the Council on the deliberate release into the environment of genetically modified organisms and repealing Council Directive 90/220/EEC, 30.7.2002, Official Journal of the European Communities L 200/22-33. <http://tinyurl.com/3894rjx>
 - EPA Environmental Protection Agency OPPTS 7501P. 2009. Pesticide Fact Sheet. <http://www.agbios.com/docroot/decdocs/09-211-001.pdf>
 - FAO/WHO. 1996. Biotechnology and food safety. Report of a joint FAO/WHO Consultation. FAO, Rome, Italy. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/food/biotechnology.pdf>
 - Freese, W. & Schubert, D. 2004. Safety testing and regulation of genetically modified engineered foods. *Biotechnology and Genetic Engineering Reviews* 21: 299–324. http://www.saveourseeds.org/downloads/schubert_safety_reg_us_11_2004.pdf
 - Garcia-Alonso, M., Jacobs, E., Raybould, A., Nickson, T., Sowig, P., Willekens, H., van der Kouwe, P., Layton, R., Amijee, F., Fuentes, A.M. & Tencalla, F. 2006. A tiered system for assessing the risk of genetically modified plants to non-target organisms. *Environmental Biosafety Research* 5: 57–65. <http://tinyurl.com/2uujd53>
 - Harwood, J.D., Wallin, W.G. & Obrycki, J.J. 2005. Uptake of Bt-endotoxins by non-target herbivores and higher order arthropod predators: molecular evidence from a transgenic corn agroecosystem. *Molecular Ecology* 14: 2815–2823.
 - Harwood, J.D., Samson, R.A. & Obrycki, J.J. 2007. Temporal detection of Cry1Ab-endotoxins in coccinellid predators from fields of *Bacillus thuringiensis* corn. *Bull. Entomol. Res.* 97: 643–648. <http://tinyurl.com/35dmbjt>
 - Hilbeck, A. & Andow, D.A. (eds.) 2004. Environmental Risk Assessment of Transgenic Organisms, Volume 1: A Case Study of Bt Maize in Kenya. CABI Publishing, Oxon, UK. <http://www.gmoera.umn.edu/public/publications/books.html>
 - Hilbeck, A., Fontes, E. & Andow, D.A. (eds.) 2006. Environmental Risk Assessment of Transgenic Organisms, Volume 2: A Case Study of Bt Cotton in Brazil. CABI Publishing, Oxon, UK. <http://www.gmoera.umn.edu/public/publications/books.html>
 - Hilbeck, A., Jänsch, S., Meier, M. & Römbke, J. 2008. Analysis and validation of present ecotoxicological test methods and strategies for the risk assessment of genetically modified plants. Federal Agency for Nature Conservation, Bonn – Bad Godesberg, *BfN-Skripten* 236: 287 pp.
 - Lang, A., Lauber, E. & Darvas, B. 2007. Early-tier tests insufficient for GMO risk assessment. *Nature Biotechnology* 25: 35–36. <http://www.nature.com/nbt/journal/v25/n1/full/nbt0107-35.html>
 - Mendelsohn, M., Kough, J., Vaituzis, A. & Matthews, K. 2003. Are Bt crops safe? *Nature Biotechnology* 21: 1003–1009. <http://www.nature.com/nbt/journal/v21/n9/full/nbt0903-1003.html>
 - Millstone, E.P., Brunner, E.J. & Mayer, S. 1999. Beyond “substantial equivalence”. *Nature* 401: 525–526. <http://www.nature.com/nature/journal/v401/n6753/full/401525a0.html>

- Nelson, K.C. & Banker, M.J. 2007. Problem formulation and options assessment handbook. A publication of the GMO ERA Project. <http://www.gmoera.umn.edu>
- Obrist, L.B., Dutton, A., Albajes, R. & Bigler, F. 2006. Exposure of arthropod predators to Cry1Ab toxin in Bt maize fields. *Ecological Entomology* 31: 143-154. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.0307-6946.2006.00762.x/abstract>
- OECD. 2000. Report of the task force for the safety of novel foods and feeds. C(2000)86/ADD1. - Organization for Economic Cooperation and Development, Paris. [http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf?cote=C\(2000\)86/ADD1&doclanguage=en](http://www.oecd.org/officialdocuments/displaydocumentpdf?cote=C(2000)86/ADD1&doclanguage=en)
- Raybould, A. 2006. Problem formulation and hypothesis testing for environmental risk assessments of genetically modified crops. *Environmental Biosafety Research* 5: 119-125. <http://tinyurl.com/36oxwqb>
- Raybould, A. 2007. Ecological versus ecotoxicological methods for assessing the environmental risks of transgenic crops. *Plant Science* 173: 589-602. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0168945207002488>
- Romeis, J., Bartsch, D., Bigler, F., Candolfi, M.P., Gielkens, M.M.C., Hartley, S.E., Hellmich, R.L., Huesing, J.E., Jepson, P.C., Layton, R., Quemada, H., Raybould, A., Rose, R.I., Schiemann, J., Sears, M.K., Shelton, A.M., Sweet, J., Vaituzis, Z. & Wolt, J.D. 2008. Assessment of risk of insect-resistant transgenic crops to nontarget arthropods. *Nature Biotechnology* 26: 203-208. <http://www.nature.com/nbt/journal/v26/n2/full/nbt1381.html>
- Royal Society of Canada. 2001. Elements of precaution: recommendations for the regulation of food biotechnology in Canada. Royal Society of Canada, Ottawa. 245pp. <http://strategis.ic.gc.ca/app/oca/crd/dcmnt.do?id=65&lang=eng>
- Zwahlen, C. & Andow, D.A. 2005. Field evidence for the exposure of ground beetles to Cry1Ab from transgenic corn. *Environmental Biosafety Research* 4: 113-117. <http://tinyurl.com/39aed8d>
- Zwahlen, C., Hilbeck, A., Howald, R. & Nentwig, W. 2003. Effects of transgenic Bt corn litter on the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Molecular Ecology* 12: 1077-1086. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-294X.2003.01799.x/full>

El Maíz GM y los Herbicidas a Base de Glifosato: Estudios de Salud

*Prof. Gilles-Eric Séralini
Universidad de Caen, Francia³*

Introducción y contexto

Luego de 15 años de la liberación comercial de los organismos genéticamente modificados (OGM) usados para la alimentación y forraje, el debate sobre su inocuidad sigue siendo muy activo alrededor del mundo. Desafortunadamente, aunque algunos de los actores asumen la existencia de una historia de uso seguro de los OGM, no existen estudios epidemiológicos en humanos o animales para sustentar esa aseveración, en particular debido a la falta de etiquetado o de trazabilidad en los países productores de OGM. En realidad, el 97% de los OGM comestibles (soya, maíz y colza, excluyendo algodón) son cultivados en Sudamérica y Norteamérica. Todas estas plantas han sido modificadas para tolerar y/o producir uno o más plaguicidas y, por lo tanto, contienen residuos de estos en diferentes niveles. Los residuos provienen principalmente de Roundup, uno de los herbicidas más importantes usados mundialmente y tolerado por 80% de los OGM; también provienen de toxinas insecticidas Bt modificadas, directamente sintetizadas por las plantas GM a partir de los transgenes. En realidad, para analizar los signos toxicológicos subcrónicos y crónicos, es más informativo concentrarse

³ Los coautores son: Dominique Cellier, Christian Vélot, Emilie Clair, Robin Mesnage, y Joël Spiroux de Vendômois

en estudios que incluyan diversos parámetros de sangre y órganos. La mayoría de estos estudios son análisis de 90 días con ratas alimentadas con maíz o soja GM. Los datos brutos de las compañías sobre estos análisis fueron los que atrajo nuestro interés sobre el caso; datos brutos que obtuvimos a partir de una orden de la corte con la ayuda de abogados (dado que los datos se conservaban confidenciales). Re-analizamos los datos y detectamos diferencias estadísticas significativas (~9%) concentradas principalmente en hígados y riñones. Estos efectos significativos fueron interpretados por las compañías como irrelevantes para la inocuidad de los OGM, así como por las autoridades oficiales competentes que dieron su aprobación (EFSA por ejemplo). Si bien los requisitos para estudios más largos y más detallados cambiaría la rentabilidad de los OGM, estos estudios protegerían la salud humana y de mamíferos, que es esencial para nosotros.

Debate sobre las insuficiencias en el montaje experimental

Todos los estudios alimentando ratas por 90 días con OGM han sido contruidos usando el mismo esquema. Las insuficiencias del diseño experimental pueden ser descritas de la manera siguiente:

43

- a)** Un número muy pequeño de animales estudiados: diez individuos de 20 en cada grupo fueron medidos en sus diferentes parámetros bioquímicos. Esto puede ser considerado un experimento a largo plazo, pero no en un periodo tan corto de tiempo. Un pequeño número de efectos o de baja amplitud son inducidos, de manera similar al caso del lento desarrollo de una patología crónica. Estos distintos tipos de protocolos pueden resultar en análisis con un débil poder estadístico y por lo tanto dar muchos resultados falsos negativos (por ejemplo al rechazar erróneamente un efecto posible del consumo de OGM). En tales condiciones, será difícil que los efectos observados puedan constituir una imagen clínica suficientemente coherente y consistente para que las autoridades se preocupen.
- b)** Demasiadas ratas usadas como control: adicionalmente, el número de controles fue cuatro veces superior en estos experimentos regulatorios, que han sido utilizados por todo el

mundo para autorizar los OGM más importantes. Este desequilibrio entre el número de ratas de control y tratadas, oculta efectos observables. El principio fue aceptado por los comités oficiales; de las 400 ratas usadas en el estudio solamente 80 fueron alimentadas con OGM (y solamente 40 fueron analizadas bioquímicamente), de este modo cuatro grupos de diez animales, con dos dosis (11 y 33 por ciento de OGM en una dieta equilibrada), y dos tipos de análisis de sangre por grupo (después de cinco y de 14 semanas).

c) Demasiados tratamientos de control: Los 320 animales que no fueron alimentados con OGM fueron tratados en realidad con siete diferentes dietas que suponían representar una variabilidad del régimen posible. Seis constituían los llamados grupos de "referencia" con alimento que no fue demostrado ser substancialmente equivalente. Además, dos dosis en los grupos de control fueron químicamente equivalentes a las dietas GM; fueron hechas con el maíz isogénico o con un maíz cercano a la variedad GM.

d) Las ratas fueron los únicos mamíferos en ser alimentados con OGM por tres meses.

e) El experimento fue realizado en una sola ocasión para cada OGM que será posteriormente consumido en todo el mundo.

f) La duración de 90 días es el experimento más largo que se haya realizado y se hace solamente con mamíferos adultos jóvenes; esta duración no es suficiente para observar efectos crónicos.

g) La falta de análisis reproductivos, de desarrollo, así como crónicos y multi-generacionales es la fuente de un fuerte debate sobre los OGM que ya se encuentran comercialmente disponibles.

Este protocolo experimental de parte de Monsanto ha sido aceptado sin cuestionamiento alguno por parte de las autoridades competentes en el mundo, mayoritariamente de manera confidencial. Nosotros nos encontramos en desacuerdo con este diseño. Además, remarcamos los efectos indirectos preocupantes sobre la fisiología de hígado y riñón en particular, debido a que estos son los órganos detoxificantes más importantes

que reaccionan en el caso de intoxicación por alimentos.

Interpretaciones biológicas divergentes

Las interpretaciones biológicas son cruciales después de un acuerdo estadístico global. Dos opciones posibles han surgido aquí: la demostración de inocuidad (la opinión de Monsanto et. al.), o disrupciones preocupantes a las que hay que dar seguimiento con estudios a largo plazo, antes de cualquier liberación comercial (nuestra opinión). Las diferencias más importantes entre las conclusiones biológicas de Monsanto y las nuestras, a partir de las diferencias estadísticas de los parámetros bioquímicos y de órganos, son las siguientes:

a) Nos gustaría manifestar que debe ser colectado anticipadamente cualquier signo de diferencia para poder tener una idea global de la fisiología animal después del consumo de OGM. Es realmente imposible en 90 días, con un solo experimento en el mundo y con un número tan reducido de ratas, obtener una idea toxicológica consistente. Este punto es importante dado que nos preocupamos por las posibles patologías crónicas. Algunos de estos efectos podrían todavía no ser de una amplitud importante, sin embargo, algunos sí lo son. Por ejemplo, el aumento del peso del corazón en 11 por ciento de los machos consumiendo NK603 o el 40 por ciento de aumento en los triglicéridos plasmáticos en hembras consumiendo MON863 (junto con un perfil pre-diabético), podría ser suficiente para provocar una moratoria. En realidad, Monsanto no repitió sus estudios.

b) Las diferencias estadísticas son normalmente comparadas con los grupos tratados con OGM y los llamados “estándares históricos de la especie” los que quedan sin definición, así como queda sin definición el “rango normal”. Esto permite considerar simplemente las grandes variaciones como normales debido a razones subjetivas. Las diferencias deben de ser consideradas primero con el grupo de control más cercano: la variedad de control isogénica. Solo después puede ser posible comparar con grupos experimentales de referencia (Monsanto et. al. hicieron eso desde un principio), los cuales

han recibido una dieta que no es equivalente (por ejemplo en los niveles de sales y azúcares). Recordemos que los grupos de referencia siguen siendo demasiado numerosos en comparación con las ratas tratadas.

c) Los efectos significativos son tomados en consideración por Monsanto et. al. solamente si son similares para ambos sexos. Esto es la negación de conocimiento científico general. Las patologías crónicas, así como las alteraciones endócrinas o algunos cáncer, son usualmente relacionados al sexo y no son proporcionales a la dosis carcinógena expuesta durante un periodo corto.

d) Para Monsanto et. al. la ausencia de efectos dependientes de la dosis es una razón para negar las diferencias significativas. Esto es absolutamente inaceptable, debido a que, por ejemplo, se debe tomar en consideración las acciones posibles del antagonista disruptor endócrino. Debe ser subrayado además que esta dependencia en la dosis no puede ser analizada con un estudio de dos dosis, como los que son presentados a las autoridades por Monsanto (11 y 33 por ciento de OGM en las dietas).

e) Debido a que las lesiones anatómicas-patológicas pueden surgir mucho tiempo después del inicio de un tratamiento o de alteraciones bioquímicas plasmáticas, la necesidad de correlaciones entre estas diferencias estadísticas y los descubrimientos histopatológicos (generalmente dentro de tres meses) no puede ser presentado para concluir sobre un signo preocupante, en contraste con lo que defienden Monsanto et. al. Además, los cortes histológicos y los órganos embebidos son propiedad de la compañía, y no tienen una revisión por parte de los comités oficiales o por autores independientes. Solicitamos una contra experticia, en particular de los riñones de los machos en estos estudios, a los que se les encontró una concentración de más de 43 por ciento de parámetros modificados, en un meta-análisis de todos los datos publicados sobre OGM comercialmente disponibles. Esto ya lo conocemos para MON863, aquí Monsanto subrayó los signos anatómicos de una "nefropatía crónica progresiva" en riñones de las ratas macho. Sin embargo, Monsanto no consideró que estos signos fuesen de importancia debido a que, de acuerdo con ellos, es bien sa-

bido que estos signos ocurren frecuentemente en ratas Sprague-Dawley. Pero estas ratas tenían solamente cinco meses de edad, y seguían siendo jóvenes al final del experimento. Estos signos anatómicos-patológicos en riñones no fueron encontrados en los estudios con maíz NK603 o MON810, aun cuando las ratas tenían la misma edad y eran de la misma variedad.

f) La composición química de la alimentación es un indicador importante, sin embargo, no son evaluadas todas las toxinas insecticidas, los residuos de herbicidas y los metabolitos desconocidos o inesperados (debido por ejemplo a la mutagénesis insercional o a nuevos metabolitos); de esta forma la equivalencia sustancial con los productos no OGM no puede ser una prueba de inocuidad.

g) Una tendencia de las interpretaciones biológicas, puede ser observada en el hecho de que los estudios toxicológicos son presentados a las autoridades y comentados solamente por las compañías desarrolladoras de productos industriales. Una propuesta para estudios independientes por parte de las compañías para contener este problema ha sido realizado para el Consejo Europeo de Ministros.

Conclusiones y perspectivas

Como conclusión, hacemos un llamado a la promoción de estudios de salud sobre los productos nuevos que sean transparentes, independientes y reproducibles, dado que su diseminación implica consecuencias a una larga escala. Los estudios de por vida para animales de laboratorio que consumen OGM deben de ser realizados, en contraste con lo que se realiza actualmente, como acontece con los estudios usando ratas sobre algunos plaguicidas o medicamentos con una duración de dos años. Estos experimentos pueden estar asociados con estudios de investigación transgeneracional, reproductiva o endócrina. Las deficiencias en los diseños experimentales pueden plantear preguntas más importantes en otras autorizaciones químicas.

Literatura

- de Vendômois, J.S., Roullier, F., Cellier, D. & Séralini G.-E. 2009. A comparison of the effects of three GM corn varieties on mammalian health. *Int. J. Biol. Sci.* 5(7): 706-726. <http://www.biolsci.org/v05p0706.htm>
- Monsanto. Focus on MON 863/YieldGard® Rootworm. <http://www.roundupag.com/products/techandsafety/safetysummaries/focus863.asp>
- Séralini, G.-E., Cellier, D. & de Vendômois, J.S. 2007. New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 52: 596-602. <http://www.springerlink.com/content/02648wu132m07804/>
- Séralini, G.-E., de Vendômois, J.S., Cellier, D., Sultan, C., Buiatti, M., Gallagher, L., Antoniou, M. & Krishna R. Dronamraju. 2009. How subchronic and chronic health effects can be neglected for GMOs, pesticides or chemicals. *Int. J. Biol. Sci.* 5(5): 438-443. <http://www.biolsci.org/v05p0438.htm>

Peces Transgénicos

Como Evaluar las Aplicaciones en Uso Confinado

Prof. Antonietta Guitiérrez Rosati
Universidad Nacional Agraria La Molina, Peru

Introducción

Algunos grupos de investigación privados y públicos tienen el objetivo de desarrollar y finalmente comercializar peces genéticamente modificados (GM). La metodología comúnmente utilizada es la microinyección del fragmento de ADN recombinante en los huevos fertilizados o en embriones prematuros. La transgénesis inducida en peces es un proceso relativamente ineficiente. Solamente cerca del 1% de los huevos tratados incorporarán de manera estable el ADN recombinante dentro de su genoma y posteriormente transmitirán el transgen a su progenitura. El uso más popular ha sido el de los genes de la hormona de crecimiento (HC). Al menos 14 especies de peces han sido genéticamente modificados con genes HC, y aunque crecen más rápido que los peces control, no tienen un crecimiento necesariamente mayor en el tamaño adulto. El objetivo económico de esta investigación es la reducción de los costos de alimentación y de tiempo de cultivo. Hasta ahora no existen peces GM que hayan sido aprobados para la producción comercial. Existen diversas preocupaciones sobre el uso de biotecnología moderna en acuicultura en los países en vías de desarrollo, en relación con el

medio ambiente y la salud humana pero también en relación con las consideraciones socio económicas y los derechos de propiedad intelectual (IPR) y también sobre la eficiencia o la falta de las regulaciones en bioseguridad.

Impacto de los transgenes

Un pez que expresa el gen de interés a un nivel aceptable podría no ser capaz de transmitir el gen a su descendencia debido a que la mayoría de los peces GM son individuos mosaico y al menos de que las gónadas contengan los transgenes, la característica podría no ser hereditaria. Los efectos pleiotrópicos también deben ser considerados al evaluar las propiedades y los impactos de los peces GM. Cuando el salmón coho GM fue comparado con el grupo de control, se encontró que el proceso de la ingeniería genética afectó la actividad de ciertos genes naturalmente existentes. Estos cambios incluyeron el aumento de la proteína parvalbumina-b, una proteína que ha sido identificada como un importante alérgeno del pescado.

50

Debido a que los transgenes son patentables y que los países en vías de desarrollo están forzados a autorizar patentes al unirse a la Organización Mundial del Comercio (OMC), las cuestiones relacionadas con las DPI son de interés particular. Los países en vías de desarrollo se encuentran frecuentemente en desventaja en el uso y en el acceso de DPI debido al aumento de actitudes proteccionistas tomadas por los propietarios de DPI (CIPR, 2002). Otra área de debate es la concerniente al bienestar de los animales con respecto a la acelerada producción industrial de carne a partir de aplicaciones de la ingeniería genética.

Uso confinado

Al considerar los efectos adversos en la biodiversidad, es muy importante tomar en cuenta que los escapes de peces GM son impredecibles con respecto a los daños, esto se debe en particular al pobre conocimiento que se tiene sobre la biodi-

versidad acuática. El tema más importante de la literatura sobre este tema es en los efectos de los peces GM escapados en poblaciones de sus contrapartes naturales, pero también es fundamental tomar en cuenta los impactos posibles en los ecosistemas acuáticos en su generalidad. Los riesgos pueden surgir de la transmisión de transgenes a las poblaciones de peces salvajes o al establecimiento del mismo OGM como un poblador permanente de un ecosistema acuático.

Para resolver estas preocupaciones, se han realizado diversos esfuerzos en investigación con el fin de desarrollar sistemas para la producción de peces estériles. Las técnicas incluyen la triploidización, la transgenia antisentido, los ribozomas y el reconocimiento génico (Maclean & Laight 2000). De acuerdo con los autores, la adopción del enfoque precautorio debe ser considerado como regla general, aun así, cada caso individual necesita estudios, evaluaciones y el establecimiento de las mejores medidas posibles de contención, antes de otorgar aprobación para su producción comercial. Científicos de la Universidad Sueca de Gothenburg reconocieron que los peces GM tienen un importante potencial para revolucionar la acuicultura comercial, pero recomendaron a la UE tomar precauciones y evitar la cultura en sistemas abiertos.

La evaluación de riesgo de los peces GM depende de diversos factores (Aleströ & de la Fuente 1999): (i) la especie liberada y el biotipo en donde es liberada, (ii) el tipo de transgen y del nuevo fenotipo, (iii) la aptitud en general de los OGM comparados con las poblaciones salvajes, y finalmente, (iv) el número de peces GM liberados, un factor muy importante. Muchos autores consideran a los peces GM como una especie "exótica" con un comportamiento que es difícil de predecir. Para decidir sobre el avance en la investigación, el desarrollo y finalmente la comercialización, es necesaria la investigación y la evaluación de los riesgos "caso por caso y etapa por etapa", comenzando con estudios con separación física y luego con ensayos confinados sobre terreno, a través de pequeña, mediana y gran escala.

Triploidización

La creación de genomas triploides es una medida para suprimir la aparición de riesgos ecológicos surgidos del apareamiento entre peces GM y no-GM al considerar que los triploides son estériles. Los triploides también serían beneficiosos económicamente por sus desarrolladores debido a que impiden el cruzamiento no autorizado de transgenes. En realidad, es posible desarrollar estudios sobre triploididad pero no sobre esterilidad. En algunas especies un cierto porcentaje de individuos triploides puede en realidad ser fecundos. Además, sería muy útil inducir la reversión de sexo en peces GM, de manera que solamente hembras crecieran (Maclean & Laight 2000). Sin embargo, ninguno de estos métodos es 100% efectivo, y tampoco los cambios genéticos inducidos por la triploididad deben ser evaluados, monitoreados y controlados con precisión.

Salmón del Atlántico GM

52

El proyecto más avanzado es conducido por AquaBounty Technologies Inc., con base en Massachusetts (USA), al producir y patentar el salmón del Atlántico GM (*Salmo salar*) con el constructo genético pOnMTGH1. En la solicitud de patente PCT/CA92/00109 (Hew & Fletcher 1992) se describen las secuencias genéticas derivadas del promotor del gen de anti-congelamiento de un pez de la familia de las anguilas (*Zoarces americanus*) y de otras secuencias genéticas de peces incluyendo el gen HC del salmón real. Algunas evidencias son presentadas sobre el aumento en la tasa de crecimiento y una temprana adaptación a las aguas saladas. Los individuos transgénicos eran en promedio más de 11 veces más pesados que los individuos de control. En contraste a los mamíferos, los salmónidos continúan creciendo durante todo su ciclo de vida, y algunas pequeñas diferencias en la tasa de crecimiento se traducen rápidamente en importantes aumentos de tamaño. Desde 1996, AquaBounty ha trabajado para recibir la aprobación por parte de las autoridades de Estados Unidos para convertirse en el primer productor de un animal

GM para el consumo humano. La Administración de Alimentos y Medicinas de los Estados Unidos (FDA) recientemente anunció la finalización de su análisis de riesgo y el hecho de que basados en los datos otorgados por la compañía no se esperan riesgos ambientales o a la salud. Anticipando un gran interés en este tema por parte del público, la FDA organizó reuniones públicas de expertos en septiembre 2010 para discutir los datos en bioseguridad y las conclusiones, así como cuestiones relacionadas con el etiquetado de comida derivada de este salmón GM⁴. Las reuniones de expertos no llegaron a ninguna recomendación, debido a que los ellos consideraron que los datos de AquaBounty eran demasiado débiles y prematuros (Heavey 2010, Voosen 2010).

Referencias

- Aleströ, P. & de la Fuente, J. 1999. Genetically Modified Fish in Aquaculture: Technical, Environmental and Management Considerations. *Biotecnología Aplicada* 16:127-130.
<http://elfosscentiaie.cigb.edu.cu/PDFs/BA/1999/16/2/127-130.pdf>
- CIPR. 2002. Integrating Intellectual Property Rights and Development Policy. Commission on Intellectual Property Rights, UK. http://www.iprcommission.org/graphic/documents/final_report.htm
- Heavey, S. 2010. Salmon leaves many questions. Thomson Reuters, 20 September. <http://www.reuters.com/article/idUSTRE68J0EZ20100921>
- Hew, C.L. & Fletcher, G.L. 1992. Gene construct for production of transgenic fish. Patent WO/ 1992/016 618.
<http://www.wipo.int/pctdb/en/wo.jsp?WO=1992016618>
- Maclean, N. & Laight, R.J. 2000. Transgenic fish: an evaluation of benefits and risks. *Fish and Fisheries* 1:146-172.
<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1467-2979.2000.00014.x/abstract>
- Voosen, P. 2010. Panel advises more aggressive FDA analysis of engineered salmon. The New York Times, 21 September. <http://www.nytimes.com/gwire/2010/09/21/21greenwire-panel-advises-more-aggressive-fda-analysis-of-71171.html>

4 FDA: Reuniones Públicas sobre Salmón del Atlántico Genéticamente Modificado, <http://www.fda.gov/NewsEvents/PublicHealthFocus/ucm224089.htm>

Bibliografía

- Bartley, D.M. & Hallerman, E.M. 1995. A global perspective on utilisation of genetically modified organisms in aquaculture and fisheries. *Aquaculture* 137: 1-7.
- Beardmore, J.A. & Porter, J.S. 2003. Genetically modified organisms and aquaculture. *FAO Fisheries Circular*. No. 989. Rome, FAO. 35pp. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/006/y4955e/Y4955E00.pdf>
- Beardmore, J.A.B., Mair, G.C. & Lewis, R.I. 1997. Biodiversity in aquatic systems in relation to aquaculture. *Aquaculture Research* 28: 829-839. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1365-2109.1997.00947.x/abstract>
- Donaldson, E.M. 1997. The role of biotechnology in sustainable aquaculture. In *Sustainable Aquaculture*. J.E. Basdad (ed.), Wiley, pp.101-126. <http://www.cabdirect.org/abstracts/19981408756.html>
- Anderson, L. 2004. Genetically engineered fish -New threats to the environment. Greenpeace International. <http://www.greenpeace.org/usa/en/media-center/reports/genetically-engineered-fish/>
- Hallerman, E.M. & Kapuscinski, A.R. 1995. Incorporating risk assessment and risk management into public policies on genetically modified finfish and shellfish. *Aquaculture* 137: 9-17. <http://tinyurl.com/3xfectl>
- Hew, C.L. & Fletcher, G.L. 2001. The role of aquatic biotechnology in aquaculture. *Aquaculture* 1: 191-204. <http://tinyurl.com/342bs77>
- OECD. 1995. Proceedings of Workshop on Environmental Impacts of Aquatic Biotechnology (1992 Trondheim Norway). OECD, Paris. <http://www.oecdbookshop.org/oecd/display.asp?lang=EN&sf1=identifiers&st1=971995141p1>
- Zhu, Z.Y. & Yong, H.S. 2000. Embryonic and genetic manipulation in fish. *Cell Research* 10: 17-27. <http://www.nature.com/cr/journal/v10/n1/full/7290032a.html>

Virus Genéticamente Modificados

Desafíos Ambientales

Prof. Terje Traavik
GenØk – Centro de Bioseguridad, Noruega

Introducción

Los virus genéticamente modificados (VGM), provenientes de diversos grupos taxonómicos, son usados de manera creciente como vectores de vacunas vivas. Existen cuatro áreas de aplicación para los virus genéticamente modificados las cuales pueden tener implicaciones ambientales: I) Inmunidad en distintas especies de ganado contra enfermedades infecciosas; ii) Inmunidad de especies de fauna silvestre que son reservas de agentes infecciosos que causan enfermedades en humanos y en ganado; iii) Control de las densidades de población de plagas animales ya sea por operaciones de control letal o por inmuno-contracepción; y iv) Programas de vacunación humana con VGM capaces de romper las barreras de especie de manera directa, o siguiendo una recombinación con virus ya encontrados en la naturaleza.

Todas estas aplicaciones podrían representar la liberación de VGM. Estas diferentes áreas de aplicación requieren de diferentes consideraciones y opciones con respecto a la elección de vectores virales y de estrategias de ingeniería genética. De manera general, existen dos estrategias: la primera está repre-

sentada por virus con genes suprimidos para su uso como vacunas homólogas, es decir, para lograr la protección inmunitaria contra el mismo VGM. Las delecciones inducidas atañen principalmente genes que son necesarios para que el virus pueda ejecutar un ciclo completo de multiplicación, o que estén implicados en la virulencia viral. Además, los genes que no son esenciales pueden ser suprimidos para obtener marcadores para el monitoreo de una inesperada propagación del virus.

Los vectores virales recombinantes obtenidos por transgénesis representan la segunda estrategia. Estos virus son creados en cultivos celulares por transfección simultánea con un plásmido portador de un gen proveniente de un virus/microbio al que se intenta afectar, y una infección con el vector viral de elección. El constructo plasmídico está diseñado de tal forma para que el transgen contenga en sus extremidades secuencias de ADN homólogas a un gen viral. Por lo tanto el transgen es transferido e integrado en un sitio predeterminado del genoma del vector viral por recombinación homóloga. Los vectores virales mayormente utilizados son los miembros de las familias de virus ADN Poxviridae y Adenoviridae.

Transferencia entre especies de virus

Las oportunidades para la transferencia entre especies de virus de mamíferos han aumentado en los recientes años debido al contacto creciente entre reservas humanas y animales. Sin embargo, es difícil predecir el momento en que tales eventos puedan ocurrir debido a que las adaptaciones virales necesarias son multifactoriales y estocásticas. Algunos recientes ejemplos de virus que han cruzado las barreras entre especies son: VIH, hantavirus, virus de la fiebre hemorrágica, arbovirus, virus de la gripe aviar, coronavirus asociado con SARS, virus Nipah y Hendra y el virus de la viruela de primates. El surgimiento del VIH ejemplifica la forma en que las transmisiones múltiples independientes entre especies de virus de simios, que no estaban asociados con enfermedades en sus huéspedes naturales, eventualmente se convirtieron en el establecimiento de dos tipos de VIH en la población humana.

Mientras se adaptaban a sus nuevos huéspedes, el virus experimentó innumerables cambios moleculares. Ciertos cambios en el comportamiento social de los humanos pudieron haber ofrecido oportunidades para que nuevas variantes del virus VIH se convirtieran en pandemias. El cruzamiento de las barreras entre especies animales es más fácilmente identificable cuando está asociada con una patología aparente. En el pasado, dichos eventos pudieron haber sido pasados por alto como la causa fundamental del brote de una nueva enfermedad. Cuando un virus transmitido desde reservas de huéspedes no-humanos a humanos, causando una enfermedad, se le denomina zoonosis.

El surgimiento de nuevas infecciones virales, en la mayor parte de los casos, obedece a cambios ambientales, ecológicos y tecnológicos causados por las actividades humanas (Louz et al., 2005). Estas actividades pueden provocar por un lado, un aumento del contacto entre humanos y ganado, y por el otro lado un aumento de huéspedes animales que pueden actuar como reservas de virus zoonóticos. El desarrollo agrícola, el incremento de la explotación de los recursos ambientales, el crecimiento y la movilidad de la población humana y el comercio y transporte de alimento y ganado, han sido identificados como factores importantes que contribuyen a la introducción y a la propagación de un cierto número de nuevos virus en la población humana. Con respecto a este panorama, el uso intensivo de virus y de sus variantes genéticamente modificadas para investigación biomédica, para terapia génica experimental y para vacunas vivas recombinantes es una causa de preocupación (revisión por Louz et al., 2005).

Preguntas importantes para la evaluación de riesgo de los VGM

Las diferentes familias de virus tienen ciclos de vida y preferencias de huéspedes muy específicas. Por lo tanto es imposible tener esquemas de evaluación de riesgo que sean válidas para todos los vectores virales potenciales. La evaluación de

riesgo debe de ser realizada caso por caso y paso por paso, tomando en cuenta las características del ecosistema en el cual el virus será liberado, y la capacidad del virus de provocar movimientos transfronterizos (Traavik, 1999; McFadden, 2005). Las cuestiones de riesgo más evidentes correspondientes a la liberación de VGM o de virus no modificados, son los aspectos conocidos y los aspectos aún por conocer relacionados con (i) la infección de especies no objetivo, (ii) las recombinaciones con parientes naturales y (iii) la integración de ADN de VGM en los cromosomas de las células del huésped.

Idealmente, antes de cualquier liberación intencionada en un nuevo ecosistema de VGM o de virus sin modificación, un cierto número de preguntas deben de ser respondidas, por ejemplo:

- ¿Podría el virus liberado provocar recombinación genética, o ya sea por otros medios obtener nuevo material genético? Si este es el caso ¿cambiarán en el híbrido resultante las preferencias de huésped y las características de virulencia?
- ¿Podría el virus liberado o cualquier híbrido o descendiente mutado infectar especies inesperadas?
- ¿Podría el virus liberado o cualquier híbrido o descendiente mutado integrar el genoma de las células huésped?
- ¿Podrían otros virus presentes en el ecosistema influenciar la infección con el virus liberado o con sus descendientes?
- ¿Podrían los insectos o animales y aves migratorias funcionar como vectores para el virus liberado o sus descendientes, de tal forma que el virus sea diseminado fuera de las áreas intencionadas para la liberación?
- ¿Por cuánto tiempo pueden el virus y sus descendientes sobrevivir fuera de los organismos huésped en condiciones ambientales y climáticas reales?
- ¿Son los virus y sus descendientes estables genéticamente con el paso del tiempo?
- ¿Podrían el virus y sus descendientes establecer infecciones que sean duraderas, clínicamente silenciosas, persistentes o latentes en organismos huésped naturalmente accesibles?
- ¿Podrían el virus o sus descendientes activar o agravar infecciones virales naturales que sean latentes o persistentes?

Algunas de estas preguntas tratan con las características biológicas y fenotípicas de un VGM que supuestamente es estable genéticamente. Pero la situación se convierte en más compleja e imprevisible si la cepa parental del VGM es genéticamente inestable bajo ciertas condiciones o circunstancias, dando origen a variedades virales con características alteradas (Traavik, 1999).

Vacíos de información necesaria para desarrollar evaluaciones de riesgo ambiental (ERA) para la liberación o el escape de VGM.

Hasta ahora ningún VGM ha sido evaluado de forma completa con respecto a sus riesgos ambientales. Las evaluaciones de riesgo se concentran en los efectos inesperados de la vacuna que pueden surgir en los individuos vacunados, o en los individuos de la misma especie que son infectados por virus propagados por los individuos vacunados. Las áreas más importantes que contienen lagunas de información con respecto a los VGM son:

- Falta de conocimiento sobre los parientes naturales que se encuentran en el ecosistema. Esta información es necesaria para evaluar las posibilidades de obtener nuevos virus a través de recombinación.
- Falta de conocimiento con respecto a los eventos de recombinación y sus consecuencias.
- Falta de conocimiento con respecto a los efectos no blanco y a la dispersión transfronteriza de VGM y sus descendientes.
- Falta de conocimiento con respecto a la integración del ADN, o de fragmentos de ADN, de VGM en los cromosomas de las células huésped?
- Falta de conocimiento con respecto a la estabilidad genética del VGM o de sus descendientes. Si el transgen es suprimido con el tiempo, el monitoreo de la propagación del VGM y de las características cambiadas del fenotipo será difícil o imposible de realizar.

Investigación y evaluación de riesgo actual de los VGM

Existe muy poca información relacionada con las ERA de la liberación de virus. Según nuestro conocimiento, la investigación relacionada con los efectos ambientales solamente ha sido realizada con alfaherpes virus (Thiry et al., 2006) y con poxvirus (orthopox y avipoxvirus). Esta investigación sobre bioseguridad ambiental ha sido realizada por ciertos años en Noruega, pero no tenemos conocimiento de otros grupos trabajando en un tema similar. Nos hemos concentrado en los temas de bioseguridad de la cepa modificada Ankara (MVA) de orthopoxvirus, la cual es considerada como una vacuna viral segura debido a su capacidad de gran expresión genética y su incapacidad de replicación en células de mamíferos (Drexler et al., 2004).

Las conclusiones más importantes de nuestros estudios pueden ser resumidos de la manera siguiente:

60

Los orthopoxvirus, así como los potenciales asociados para la recombinación de las vacunas que tienen como vectores los orthopoxvirus, son frecuentes en diferentes poblaciones de especies de roedores pequeños por todo el país, y estas especies ya tienen los anticuerpos para tales virus (Sandvik et al., 1998; Tryland et al., 1998).

La recombinación entre un MVA transgénico modificado con influenza y un orthopoxvirus natural ha sido demostrado en culturas celulares. Los recombinantes pueden tener características fenotípicas diferentes a los virus parentales. Los recombinantes pueden ser genéticamente inestables y “expulsar” el transgen de la influenza. Esto eliminaría la marca más evidente para el monitoreo de la vacuna (Hansen et al., 2004).

La permisividad absoluta y relativa para la multiplicación de MVA y la propagación viral no han sido estudiadas. MVA GM o sin modificación puede, contrariamente al dogma general, producir infecciones en ciertos tipos relevantes de células de mamíferos. Otros tipos de células de mamíferos son semi-per-

misivas a la infección (Okeke et al., 2006).

El secuenciamiento de ADN demostró que los orthopoxvirus pueden ser separados en cepas distintas geográficamente, y se podía deducir que estas cepas tienen distintas historias evolutivas, en diferentes linajes de roedores (Hansen et al., 2009). Al secuenciar un orthopoxvirus aislado a partir de un caso clínico humano, se estableció que esta cepa era un híbrido entre dos especies naturales de orthopoxvirus. Esta fue la primera prueba de la recombinación de orthopoxvirus bajo circunstancias auténticamente ecológicas (Hansen et al., 2010). La recombinación homóloga entre las vacunas que tienen como vector los orthopoxvirus y los orthopoxvirus naturales, la inestabilidad genética, la acumulación de vectores que no expresan el transgen o de progenie híbrida de virus, así como la selección específica por tipo celular del transgen son complicaciones potenciales que pueden surgir si las vacunas que tienen como vector los poxvirus son usadas de forma extensiva en animales y humanos (Okeke et al., 2009a). Las características fenotípicas de los recombinantes entre orthopoxvirus genéticamente modificados o naturales pueden ser diferentes de manera impredecible con respecto a los virus parentales (Okeke et al., 2009b). Contrariamente a ciertas suposiciones, algunos avipoxvirus pueden provocar infecciones en células de mamíferos, y los avipoxvirus concentrados en un área geográfica restringida pueden ser más diversos genéticamente de lo que se pensaba (Weli et al., 2004 and 2005).

Las implicaciones de estos estudios para las ERA de los virus transgénicos, y la falta de investigación relevante en bioseguridad con respecto a los VGM será desarrollado con más detalle durante la presentación.

Referencias

- Drexler, I., Staib, C. & Sutter, G. 2004. Modified vaccinia virus Ankara as antigen delivery system: how can we best use its potential? *Curr Opin Biotech* 15: 506-512. <http://tinyurl.com/399v2wx>
- Hansen, H., Okeke, M.I., Nilssen, Ø. & Traavik, T. 2004. Recombinant viruses obtained from co-infection in vitro with a live vaccinia-vecto-

red influenza vaccine and a naturally occurring cowpox virus display different plaque phenotypes and loss of the transgene. *Vaccine* 23: 499-506.

- Hansen, H., Okeke, M.I., Nilssen, Ø. & Traavik, T. 2009. Comparison and phylogenetic analyses of orthopoxviruses isolated from cats and humans in Fennoscandia. *Archives of Virology* 154: 1293-1302.
- Hansen, H., Okeke, M.I. & Traavik, T. 2010. A cowpox virus with an ectromelia virus A-type inclusion protein. Manuscript in preparation.
- Louz, D., Bergmans, H.E., Loos, B.P. & Hoebe, R.C. 2005. Cross-species transfer of viruses: implications for the use of viral vectors in biomedical research, gene therapy and as live-virus vaccines. *The Journal of Gene Medicine* 7: 1263-1274. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/jgm.794/abstract>
- McFadden, G. 2005. Poxvirus tropism. *Nature Reviews Microbiology* 3: 201-213. <http://www.nature.com/nrmicro/journal/v3/n3/exec-sum/nrmicro1099.html>
- Okeke, M.I., Nilssen, Ø. & Traavik, T. 2006. Modified Vaccinia virus Ankara multiplies in rat IEC-6 cells and limited production of mature virus occurs in other mammalian cell lines. *J Gen Virol* 87: 21-27. <http://vir.sgmjournals.org/cgi/content/abstract/87/1/21>
- Okeke, M.I., Olayiwola, A.A., Moens, U., Tryland, M., Traavik, T. & Nilssen, Ø. 2009a. Comparative sequence analysis of A-type inclusion (ATI) and P4c proteins of orthopoxviruses that produce typical and atypical ATI phenotypes. *Virus Genes* 39: 200-209. <http://www.springerlink.com/content/r2v006710mq20617/>
- Okeke, M.I., Nilssen, Ø., Moens, U., Tryland, M. & Traavik, T. 2009b. In vitro host range, multiplication and virion forms of recombinant viruses obtained from co-infection in vitro with a vaccinia-vectored influenza vaccine and a naturally occurring cowpox virus. *Virology J* 6: 55. <http://www.virologyj.com/content/6/1/55/abstract>
- Sandvik, T., Tryland, M., Hansen, H., Mehl, R., Moens, U., Olsvik, O. & Traavik, T. 1998. Naturally occurring orthopoxviruses: Potential for recombination with vaccine vectors. *J Clin Microbiol.* 36(9): 2542-2547. <http://jcm.asm.org/cgi/content/full/36/9/2542>
- Thiry, E., Muylkens, B., Meurens, F., Gogev, S., Thiry, J., Vanderplassen, A. & Schynts, F. 2006. Recombination in the alphaherpesvirus bovine herpesvirus 1. *Veterinary Microbiology* 113: 171-177. <http://tinyurl.com/2vhxync>
- Traavik, T. 1999. An orphan in science: Environmental risks of genetically engineered vaccines. Research Report for DN 199-6 (92 pages). Directorate for Nature Management, Trondheim, Norway. (ISBN 82-7072-351-7). <http://www.biosafety-info.net/article.php?aid=515>

- Tryland, M., Sandvik, T., Arnemo, J. M., Stuve, G., Olsvik, O. & Traavik, T. 1998. Antibodies against orthopoxviruses in wild carnivores from Fennoscandia. *J Wildl Dis.* 34(3): 443-450.
<http://www.jwildlifedis.org/cgi/reprint/34/3/443.pdf>
- Weli, S.C., Nilssen, Ø. & Traavik, T. 2005. Avipoxvirus multiplication in a mammalian cell line. *Virus Res* 109: 39-49.
<http://tinyurl.com/39b373z>
- Weli, S.C., Okeke, M.I., Tryland, M., Nilssen, Ø. & Traavik, T. 2004. Characterization of avipoxviruses from wild birds in Norway. *Can J Vet Res* 68: 140-145.

Crecimiento silvestre de Colza Genéticamente Modificada Alrededor de Puertos en Japón y Sus Impactos en el Medio Ambiente

*Prof. Masaharu Kawata
Universidad Yokkaichi, Japón*

Introducción

64

JAPÓN importa más de dos millones de toneladas de colza al año para la producción de aceite, de los cuales 90 por ciento proviene de Canadá. En 2009, cerca del 90 por ciento de la colza en Canadá era genéticamente modificada, la mayoría tolerante a herbicida. Como resultado de esto, muchas plantas de colza GM han sido encontradas alrededor de varios puertos de Japón. Hemos examinado desde 2004 la colza GM que crece de manera silvestre alrededor de los puertos para considerar la forma de conservación de la Brasicácea doméstica fuera de toda introgresión de genes modificados, dado que el cultivo comercial de colza GM no es permitido en Japón. Las áreas de estudio se encuentran en los puertos de Yokkaichi y de Nagoya. La preocupación sobre el flujo de genes a partir de la colza GM hacia otras brasicáceas es real debido a que varios experimentos y exámenes en la naturaleza han mostrado cruza genéticas entre *B. napus* y otras especies *Brasica* y de género *Brassicaceae* (Chevre et al. 1997; Brown et al. 2005; Beckie et al. 2006). Nuestra investigación demuestra

que la introgresión genética ha ocurrido en los últimos años en japon en los cultivos domésticos y en las malezas naturales.

Materiales y métodos

Las muestras fueron colectadas alrededor de las rutas entre los puertos y las industrias procesadoras. Treinta exámenes fueron llevados a cabo alrededor del puerto de Yokkaichi desde 2004. Varios *B. napus* silvestres crecen y a veces florecen durante todo el año a los lados de las rutas, mientras que la mayoría de las plantas brasicáceas domésticas crecen anualmente sólo de invierno a primavera. *B. napus* y especies domésticas de *B. rapa*, *B. juncea* y *B. oleracea* fueron analizadas. Plantas de otro tipo de género, *Sisymbrium* sp., también fueron colectadas en 2009 y 2010 en la región de Yokkaichi. Las muestras fueron analizadas con las tiras reactivas de flujo lateral. El método usa inmunocromatología para detectar las proteínas producidas por los genes tolerantes al herbicida. Dos tipos de tolerancia a herbicida fueron analizados, tolerancia a glifosato y a glufosinato. La tolerancia a glifosato fue detectada por la proteína CP4EPSPS de *Agrobacterium tumefaciens* y la tolerancia a glufosinato fue detectada por la proteína PAT proveniente de *Streptomyces hygroscopicus*. Los transgenes también fueron detectados por metodología PCR en el caso de que fuera necesario hacerlo.

Resultados

Se encontró una cantidad importante de *B. napus* silvestre alrededor del puerto de Yokkaichi en julio 2004. También se encontró fuera del área portuaria, alrededor de las rutas hacia una industria aceitera a 40 km del puerto. La causa de esta colza silvestre fue el derramamiento de las semillas durante el transporte por camiones. La colza que se encontraba sobre la ruta algunas veces florecía y germinaba o producía semillas durante todo el año. Esto significa que la colza silvestre era perenne, mientras que la brasicácea doméstica es normalmente anual. El crecimiento de *B. napus* de manera independiente de la temporada, puede aumentar las posibilidades de hibri-

dación con especies de variedades cultivables familiares y con especies salvajes de *B. juncea* y de otras brasicáceas. Como resultado de este crecimiento perenne de *B. napus*, algunas veces se observaron grandes plantas silvestres. Algunas plantas de colza crecieron formando grandes poblaciones y otras crecieron como plantas individuales en esta área. También fueron observadas alteraciones generacionales de colza silvestre. La colza silvestre esparció semillas, dando origen a descendientes alrededor suyo. De esta manera, aun cuando los esfuerzos para parar el derramamiento de semillas a partir de los camiones que transportaban colza GM fueron exitosos, esto no cambió de manera eficaz la situación.

La tasa de contaminación por colza GM ha aumentado en los últimos siete años. Más de 70 por ciento de la colza silvestre era resistente a herbicida en 2009. Existían dos tipos de colza: tolerante a glifosato y tolerante a glufosinato. En los estudios de 2008 y 2009, encontramos colza GM con rasgos apilados ya que era tolerante a los dos herbicidas: glifosato y glufosinato. Las muestras fueron analizadas por método PCR y se confirmó la existencia de dos tipos de secuencias de ADN de la tolerancia a herbicidas. Esto sugiere que cruza genéticas ocurrieron de manera natural entre los dos tipos de colza GM al crecer de forma contigua. Las posibilidades de cruzamiento de especies distintas aumentaron entre la colza tolerante a herbicida y otras brasicáceas domésticas por su coexistencia simpátrica. Encontramos algunas plantas híbridas entre *B. napus* tolerante a glifosato y *B. juncea* silvestre, así como híbridos entre *B. napus* tolerante a glifosato y *B. rapa* cerca de la industria procesadora de colza en la ciudad de Toyokawa, en la prefectura de Aichi en 2008 y 2009. Esta industria produce aceite de maquinaria a partir de colza importada que fue contaminada con hongos o suelo durante el proceso de embarque y no pudo ser usado como aceite para la alimentación. Existen grandes poblaciones de *B. juncea* y *B. rapa* en las orillas de los ríos cercanos a las industrias. Además encontramos brócoli (*B. oleracea*) tolerante a glifosato en las orillas de las rutas en la región de Yokkaichi en 2009.

En 2009 y 2010, encontramos otro ejemplo de hibridación cruzada entre colza GM y una planta de otro género, *Sisymbrium* sp., una maleza brasicácea, que crece por todo Japón. Las plantas híbridas mostraron morfologías diferentes a las especies *Brassica*, pero exhibieron tolerancia a herbicida. Normalmente *Sisymbrium altissimum* crece cerca del híbrido, así que podría ser uno de los padres del híbrido. Se observaron malezas tolerantes a glifosato y a glufosinato. En la región de Yokkaichi se encontró una maleza híbrida resistente tanto al glifosato como al glufosinato. Estas fueron confirmadas por PCR con la existencia de secuencias nucleótidas. La mayoría de las malezas *Sisymbrium* no producen semillas y muestran esterilidad. Sin embargo, algunas veces, pequeñas cantidades de semillas se encuentran y se diferencian de las de *Sisymbrium*. Una maleza fue encontrada en 2009, pero 13 fueron encontradas en 2010. El porcentaje de malezas tolerantes a herbicida fue de 92.5, lo que muestra una tasa altamente anormal de los genes modificados.

Discusión

Japón importa cerca de dos millones de toneladas de semillas de colza al año, primordialmente de Canadá. En 2009, más del 90 por ciento de las colza de Canadá era genéticamente modificada. La situación de Canadá se ve reflejada alrededor de los puertos japoneses pues la colza silvestre contiene un porcentaje elevado de tolerancia a herbicida, como se ha descrito anteriormente en los resultados. La situación japonesa fue reportada por Saji et al. (2005) y Kawata et al. (2009). La posibilidad de hibridación entre la colza y sus parientes silvestres ha sido discutida por muchos autores, desde el inicio del desarrollo de los cultivos genéticamente modificados, debido a la preocupación sobre la introgresión potencial de los genes modificados genéticamente a los parientes cultivados o silvestres (Mikkelsen et al. 1996; Timmons et al. 1996). Brown et al. (1996) llevaron a cabo extensos experimentos sobre la polinización por *Brassica napus* tolerante a herbicida con sus parientes silvestres en condiciones sobre campo, antes del cultivo comercial de colza GM. Ellos sugirieron que el transporte po-

dría dar lugar a malezas voluntarias por derrame de semillas, el movimiento del polen sería afectado por la dirección del viento, la hibridación ocurriría entre la colza GM y sus parientes silvestres en condiciones reales, y las cruas entre el híbrido y los parientes podrían tener un rol importante en el movimiento de los genes de resistencia a herbicidas hacia la población natural de malezas. FitzJohn et al. (2007) revisaron una cantidad importante de artículos sobre hibridación entre las especies de *Brasica* y los géneros aliados de manera a estimar el potencial de escape de transgenes. Reportaron que al menos 23 *Brasicáceas* pueden hibridarse con éxito con *B. napus*, estas incluyen *B. rapa*, *B. juncea* y *B. oleracea*. Dieciséis diferentes géneros que contienen *Sisymbrium* también pueden hibridarse con *B. napus*. Hansen et al. (2001, 2003) demostraron una extensa introgresión entre *B. napus* y *B. rapa* en poblaciones naturales y la persistencia del gen introgresado en las siguientes generaciones. La transferencia de genes modificados de *B. napus* a *B. rapa* fue analizado genéticamente bajo las condiciones japonesas por Lu et al. (2002).

El crecimiento perenne de la colza GM aumenta las oportunidades de hibridación y de transferencia de genes a variedades cultivadas aparentadas o a plantas silvestres. Tenemos muchas variedades cultivables de *B. rapa* y *B. oleracea* para la alimentación en Japón. *B. juncea* silvestre crece alrededor de las orillas de los ríos. Nuestros descubrimientos de híbridos entre colza GM y *B. rapa*, *B. juncea* y *B. oleracea* muestra que las posibilidades se han convertido en realidad. La incidencia de la maleza tolerante a herbicida, *Sisymbrium* sp., es el primer caso reportado en el medio ambiente de Japón. Mientras que la mayoría de los híbridos son estériles, algunas de las plantas tienen semillas. Si la semilla híbrida crece y se retrocruza con la maleza parental, la intogresión genética puede ocurrir en el medio ambiente, lo que tiene influencia en la conservación de la diversidad biológica.

Conclusión

La dispersión inesperada de la colza GM alrededor de los

puertos japoneses fue estudiada, en especial desde 2004, alrededor del puerto de Yokkaichi. Se descubrió una gran cantidad de colza silvestre tolerante a glifosato y a glufosinato. El crecimiento perenne y las alteraciones generacionales de la colza fue confirmada. Se identificó como causa del crecimiento de voluntarios de colza al transporte y al derramamiento de semillas a partir de los camiones que las movían del puerto a una industria aceitera y a otra industria procesadora de semillas. También se descubrieron colza con genes apilados de tolerancia a herbicidas. Esto significa que la polinización natural y la hibridación entre dos tipos de colza GM ya ha ocurrido. Hemos descubierto distintos híbridos entre *B. napus* y variedades cultivables (*B. rapa* and *B. oleracea*). Además, se descubrieron híbridos con malezas, *B. juncea* y con un género distinto, *Sisymbrium* sp., en 2008 y 2010. La transferencia del gen modificado a plantas de maleza puede provocar una influencia en la conservación natural de la diversidad biológica.

Referencias

- Beckie, H.J., Harker, K.N., Hall, L.M., Warwick, S.I., Legere, A., Sikema, P.H., Clayton, G.W., Thomas, A.G., Leeson, J.Y., Seguin-Swartz, G. & Simard, M.J. 2006. A decade of herbicide-resistant crops in Canada. *Canadian Journal of Plant Science* 86: 1243-1264. <http://tin-yurl.com/3yo5d8x>
- Brown, J., Thill, D.C., Brown, A.P., Mallory-Smith, C., Brammer, T.A. & Nair, H.S. 1996. Gene transfer between canola (*Brassica napus* L.) and related weed species. University of Idaho. *Annals of Applied Biology*: 129:513-522. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1744-7348.1996.tb05773.x/abstract>
- Chevre, A.-M., Eber, F., Baranger, A. & Renard, M. 1997. Gene flow from transgenic crops. *Nature* 389: 924. <http://www.nature.com/nature/journal/v389/n6654/abs/389924a0.html>
- FitzJohn, R.G., Armstrong, T.T., Newstrom-Lloyd, L.E., Wilton, A.D. & Cochrane, M. 2007. Hybridisation within *Brassica* and allied genera: Evaluation of potential for transgene escape. *Euphytica* 158: 209-230. <http://www.springerlink.com/content/h64544p851w78131/>
- Hansen, L.B., Siegmund, H.R. & Jorgensen, R.B. 2001. Introgression between oilseed rape (*Brassica napus* L.) and its weedy relative *B. rapa* L. in a natural population. *Genet. Resour. Crop Evol.* 48: 621-627.

<http://www.springerlink.com/content/r0u1501857662n86/>

Hansen, L.B., Siegismund, H.R. & Jorgensen, R.B. 2003. Progressive introgression between *Brassica napus* (oilseed rape) and *B. rapa*. *Heredity* 91: 276-283. <http://www.nature.com/hdy/journal/v91/n3/full/6800335a.html>

- Kawata, M., Murakami, K. & Ishikawa, T. 2009. Dispersal and persistence of genetically modified oilseed rape around Japanese harbors. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 16: 120-126. <http://www.springerlink.com/content/f1n4770t1h086678/>

- Lu, C.M., Kato, M. & Kakihara, F. 2002. Destiny of a transgene escape from *Brassica napus* into *Brassica rapa*. *TAG Theoretical and Applied Genetics* 105: 78-84. <http://www.springerlink.com/content/9bw1f3e0chjd7aaw/>

- Mikkelsen, T.R., Andersen, B. & Jorgensen, R.B. 1996. The risk of crop transgene spread. *Nature* 380: 31. <http://www.nature.com/nature/journal/v380/n6569/abs/380031a0.html>

- Saji, H., Nakajima, N., Aono, M., Tamaoki, M., Kubo, A. & Wakiyama, S. 2005. Monitoring the escape of transgenic oilseed rape around Japanese ports and roadsides. *Environmen Biosafety Res.* 4: 217-222. <http://tinyurl.com/3alg2r7>

- Timmons, A.M. et al. 1996. Risks from transgenic crops. *Nature* 380: 487. <http://www.nature.com/nature/journal/v380/n6574/abs/380487a0.html>

Flujo de Transgenes en Sistemas de Pequeña Escala: Ghana como Modelo

*Dr. Denis Worlanyo Aheto
Universidad de Cape Coast, Ghana*

De manera a poder considerar en su globalidad las implicaciones de los OGM en los países en vías de desarrollo con respecto al contexto de los países desarrollados, este artículo presentará un informe sobre un proyecto que evaluó las implicaciones de los OGM en los sistemas agrícolas de pequeña escala en África al centrarse en un sector específico de la producción de alimentos agrícolas en Ghana. Los cultivos de maíz han sido usados, en este contexto, para distinguir las diferencias existentes entre la agricultura de Estados Unidos o de Europa y en otros países desarrollados en comparación con las condiciones de la agricultura en África. En particular son considerados los siguientes elementos: la estructura agrícola, el paisaje, la ubicación de los campos, las distancias de aislamiento y los patrones espaciales de los campos agrícolas, que son completamente heterogéneos. Usando como base una metodología de modelización, se calcularon distintos escenarios para ocuparse de los posibles impactos del flujo de genes entre campos GM y convencionales, debido a la polinización cruzada. Se realizará una extensión al tema para tener más conocimiento sobre las perspectivas de los mismos agricultores, particularmente con respecto a las fuentes de semilla y los factores que consideran de mayor relevancia en términos de

accesibilidad a la semilla, de productividad agrícola y de consideraciones económicas. Estos datos son muy importantes para la discusión sobre bioseguridad debido a la urgente necesidad de directivas que sean aplicables y aceptables científicamente sobre el monitoreo a pequeña escala de OGM, especialmente la necesidad de identificar parámetros de estudio adecuados para evaluar el flujo de genes en los medio ambientes receptores.

Este estudio tiene como objetivo el completar las lagunas de conocimiento al desarrollar métodos de muestreo apropiados para estimar el impacto potencial del flujo de genes debido a la introducción de OGM en sistemas de pequeña escala. Hasta ahora, los datos a gran escala sobre los impactos ecológicos de los OGM en sistemas agrícolas de pequeña escala son muy escasos. Este artículo intenta tocar el tema en dos distintas partes. Primero, facilitará datos sobre la ubicación y las geometrías generales de los campos, así como distancias de aislamiento de las condiciones actuales de los cultivos. Basándose en estos datos, se calcularán estimaciones para el flujo de genes de maíz convencional con la introducción de los cultivos GM. En segundo lugar, este artículo discutirá los impactos socioeconómicos posibles en la calidad de vida de los agricultores y evaluará las implicaciones para la diversidad de semillas así como las implicaciones de bioseguridad. Estas implicaciones son de importancia mayor para Ghana desde que el Proyecto de Ley sobre Semillas, que se encarga del uso, intercambio y distribución de semillas, fuera presentado ante el parlamento para consideración así como el Proyecto de Ley de Bioseguridad. El Proyecto de Ley sobre Semillas fue revisado para incluir biotecnología y la consideración de los cultivos genéticamente modificados. Las enmiendas fueron realizadas para asegurar no sólo la protección del ambiente y de la diversidad genética de las variedades locales pero también sobre temáticas de salud incluyendo la seguridad alimentaria relativa a la distribución de semillas, debido a la introducción de OGM en el país. Es de gran preocupación saber que cerca del 70 por ciento de la agricultura en Ghana se realiza en un contexto de pequeños productores y cerca

del 90 por ciento de los agricultores dependen de las semillas guardadas de las cosechas pasadas o del intercambio de sus cultivos cosechados anualmente, en lugar de comprar semillas certificadas. Además, el maíz sirve como alimento básico para la gran parte de la población. El maíz GM es anunciado por sus desarrolladores como fuente de un valor agregado, al mejorar el manejo de malezas y a reducir los costos y las cantidades de herbicidas aplicados a los cultivos. La resistencia al ataque de las plagas es también una característica promovida por los desarrolladores.

Por consiguiente, para reforzar el entendimiento sobre bioseguridad, es importante que todas las partes involucradas, los decisores y los realizadores de políticas consideren desde una perspectiva científica, tomando en consideración las condiciones agrícolas, sociales y medioambientales de Ghana, la posibilidad de que la segregación de las semillas o el rastreo de la característica sea realizable con la introducción de OGM en la agricultura de pequeña escala. El flujo de genes se discute en este contexto. El flujo de genes es un proceso ecológico importante, pero los efectos que puede tener deben de ser completamente evaluados. Esto es requerido en acuerdo con el Protocolo de Cartagena (2000) para una completa evaluación de riesgo. El flujo de genes incorpora genes dentro de la colección de recursos genéticos de una población a partir de una o varias poblaciones, eventualmente determinando la estructura genética de las poblaciones naturales. La dispersión de semillas y de polen son mecanismos importantes que provocan el flujo de genes entre poblaciones de plantas. En el contexto de los OGM, ciertas preocupaciones han surgido sobre los posibles impactos agrícolas y ambientales. Los impactos agronómicos pueden resultar en la incorporación de transgenes provenientes de cultivos GM en especies de cultivos nativos, con efectos potenciales adversos para la conservación de las variedades locales y de la mejora de plantas. Algunos efectos ambientales se relacionan con los impactos en especies de insectos no blanco o de resistencia a herbicidas conllevando a la persistencia y a la invasibilidad de las especies. El valor económico a los produc-

tores de GM o de híbridos es altamente incierto debido a la presencia de transgenes en cosechas convencionales. Además, la pérdida potencial del nivel de vida del agricultor y de seguridad de semillas es una preocupación adicional.

Métodos

Un receptor con Sistema de Posicionamiento Global (GPS) fue utilizado para determinar las ubicaciones de los cultivos de maíz. Los datos colectados fueron sistematizados en una base de datos y la superficie de los campos fueron calculadas basándose en sus geometrías estimadas usando el software del GPS. Un modelo cuantitativo fue aplicado para estimar el flujo de genes a través de distintos escenarios representativos de las prácticas reales en campo en un área de 20 km². Posteriormente, fueron calculadas las tasas de polinización cruzada entre los campos GM y los campos convencionales. Se realizaron encuestas en forma de formularios con alrededor de 200 agricultores para evaluar la magnitud de las fuentes de adquisición de semillas y sus preferencias, examinando de la misma forma las condiciones socio económicas de los pequeños productores.

Análisis y conclusiones

La trazabilidad asegura un control de calidad de los sistemas de distribución de semillas. Los datos indican que una vez que los productos GM son introducidos, la trazabilidad de los OGM sería muy difícil en el caso de que surgiera un impacto adverso. En segundo lugar, la característica de los campos al ser pequeños y en proximidad de otros, no permite la implementación de distancias de aislamiento entre los campos GM y convencionales como una estrategia de manejo. Esto produce una gran posibilidad de contaminación de transgenes en las variedades de semillas locales. En tercer lugar, el gran número de pequeños campos de cultivo sugiere el número importante de diferentes variedades de semillas que son sembradas por los pequeños productores provocando potencialmente un incremento del intercambio genético y de

variabilidad genética. El cultivo de maíz GM conllevaría a una alta probabilidad de impacto en las variedades locales de semillas y en la diversidad genética incluyendo las áreas en donde la agricultura convencional es practicada. En cuarto lugar, la naturaleza informal de la agricultura a pequeña escala o de la agricultura en espacio abierto en jardines o en espacios marginales convierte en una situación sumamente complicada la regulación de la situación del cultivo y de los mercados agrícolas, incluyendo cualquier semilla GM que pueda ser introducida en el futuro. Estas condiciones plantean una dificultad mayor dado que las opciones que permiten la elección por parte del consumidor y la segregación de las características se ven reducidas. De esta manera el confinamiento de los productos GM, incluyendo la atenuación y la supresión en el ambiente, requerirá de una fuerte inversión y de un compromiso político para ser implementado. El uso de las distancias de aislamiento como requerimiento para el manejo para el control del flujo de genes entre cultivos GM y convencionales es discutido. Alrededor de 98% de los campos estudiados, cerca de 1300 en el área de estudio, tienen un máximo de 3, 4, 5, 7 y 8 campos aledaños a distancias de 20, 40, 60, 80 y 100 m respectivamente. Con una distancia mínima entre vecinos de 5 m y una distancia máxima de cercanía de 459 m, practicar la coexistencia de los cultivos GM y convencionales es imposible. Con respecto a los tamaños de los campos, cerca del 98% de los campos estudiados eran menores de 0.5 hectáreas, con el 2% restante siendo entre 0.5 a 2 hectáreas y más. La conservación in situ de los recursos genéticos del maíz será poco probable debido a la fuerte polinización cruzada en campos pequeños y aledaños como fue indicado por el modelo. El tamaño del campo receptor, su ubicación y la distancia con un campo GM son parámetros importantes para estimar la probabilidad de introgresión por parte del transgen. La evaluación permitió el análisis de tasas potenciales de polinización cruzada aun para un solo campo GM como escenario mínimo. La evaluación fue desfavorable con la conclusión de que con la introducción de los OGM, las áreas cultivadas con agricultura convencional serían gradualmente impactadas por el OGM.

Con respecto al uso de la semilla, las semillas sembradas por los agricultores fueron obtenidas a partir de un amplio rango de fuentes. El uso de granos alimenticios como semillas fue el más importante, y muchas veces no era distinguible como tal. Así también, las semillas de las cosechas previas fueron una fuente crucial. Los agricultores confirmaron que las variedades sembradas son variedades locales debido a que proveen una ventaja económica debido al ahorro en el costo de adquirir semillas certificadas. Las semillas que fueron sembradas a partir de las cosechas pasadas son influenciadas en gran medida por la disponibilidad de los recursos financieros. Así el cultivo de OGM podría crear dificultades adicionales al agricultor, en particular a través del pago de comisión tecnológica que puede convertirse en una amenaza a la seguridad de la subsistencia de los agricultores. El modelo confirmó que basta con un sólo campo GM, que comprenda 0.2% del área de cultivo convencional, para potencialmente provocar flujo de genes en la región considerada con 0.12% de transgenes en los cultivos cosechados. Estos datos indican que pequeñas fracciones de introgresiones de transgenes en el orden de magnitud de 2.61% en campos convencionales son posibles tomando en cuenta las variadas condiciones de estudio. En comparación con los estándares regulatorios europeos para etiquetado GM (de 0.9%) cualquier condición que aumente la presencia del transgen en las cosechas convencionales por encima de 0.9% es suficiente para necesitar etiquetado, y ser considerado y vendido como GM. En las condiciones africanas, las consecuencias serían inmensas. En primer lugar limitaría el potencial de expansión de las exportaciones con productos agrícolas, aumentando las barreras de comercio entre el continente y las naciones desarrolladas. El estudio mostró que los agricultores locales tendrían dificultades para diferenciar entre productos GM y convencionales al nivel del pequeño productor, lo que introduce mayor complejidad. Con la introducción de los OGM, el área cultivada GM aumentaría con el paso del tiempo debido al flujo del transgen en los campos convencionales y agravaría los impactos. En conclusión, es importante notar que la agro-estructura y las prácticas de intercambio de semillas harán posible que el flujo

de genes, aun a bajas frecuencias, pueda ser fácilmente detectado en producción convencional, probablemente con repercusiones legales para los pequeños agricultores si las cláusulas de infracción de patentes son aplicadas por los desarrolladores. Es también importante cuestionar la utilidad de las distancias de aislamiento bajo las condiciones descritas. Por último, con la introducción de los OGM, la conservación de las semillas convencionales in situ será impracticable debido al aumento del contenido en características GM en las semillas guardadas. Las implicaciones de esta consecuencia parecen ser importantes por lo que debe convertirse en tema de mayor discusión.

Referencias

- Aheto, D.W., Reuter, H., Owusu-Biney, A. & Breckling, B. (In press). Modelling geneflow scenarios in smallholder African agriculture. *ESPR Environmental Science and Pollution Research*.
- Aheto, D.W. (2009). Implication Analysis for Biotechnology Regulation and Management in Africa. Baseline Studies for Assessment of Potential Effects of Genetically Modified Maize (*Zea mais* L.) Cultivation in Ghanaian Agriculture. Frankfurt Am Main, *Theorie in der Ökologie*, Peter Lang, Vol. 15. <http://tinyurl.com/32a7rdo>
- Cartagena Protocol on Biosafety (2000) (under the Convention on Biological Diversity, CBD). <http://bch.cbd.int/protocol/>
- Reuter, H., Böckmann, S. & Breckling, B. (2008). Analysing cross-pollination studies in maize. In: Breckling, B., Reuter, H. & Verhoeven, R. Implications of GM-Crop Cultivation at Large Spatial Scales. *Theorie in der Ökologie* 14. Frankfurt, Peter Lang, pp. 47-53. <http://tinyurl.com/32r6mm4>

Flujo de Transgenes en el Cultivo Comercial de Maíz en África del Sur

Prof. Chris Viljoen⁵

Universidad Free State, África del Sur

Antecedentes y objetivo

78

ÁFRICA del Sur (AS) es uno de los pocos países de África en introducir cultivos genéticamente modificados (GM). La primera generación de maíz GM ha sido cultivada comercialmente en AS desde 1997 (Department of Agriculture 2005). En 2008, África del Sur se situó en la octava posición en cuanto a la producción mundial de OGM incluyendo algodón, soya y maíz amarillo y blanco (James, 2009). El flujo de genes a partir de los cultivos GM y los no GM puede tener distintas consecuencias incluyendo: el desarrollo de la resistencia de los insectos objetivo a los cultivos Bt; la contaminación de las variedades locales; la pérdida de comercio en materias primas de grano procesado o a granel; la contaminación de la cadena alimenticia con cultivos GM experimentales, industriales o farmacéuticos. Es por eso, que AS así como otros países productores de OGM, tienen que enfrentarse con consideraciones para minimizar o prevenir la mezcla a través del uso de distancias de aislamiento de cultivo, en los casos necesarios como con los ensayos en el terreno con OGM y la coexistencia (Huffman 2004; Moschini 2006). Otra consideración es que

⁵ Coautor: Lukeshni Chetty

se espera que cultivos GM especializados, por ejemplo para la producción farmacéutica, el mejoramiento nutricional y los biocombustibles, se conviertan en una realidad en un futuro próximo. El minimizar el flujo de genes para diferentes aplicaciones, desde el uso confinado hasta la liberación ambiental, es una consideración de suma importancia. En el pasado, distintos estudios han listado diferentes distancias de polinización cruzada para el maíz, usando una variedad de diseños de pruebas sobre campo bajo distintas condiciones ambientales (Aylor et al. 2003; Bannert & Stamp 2007; Burris 2001; Byrne & Fromherz 2003; Della Porta et al. 2008; Garcia et al. 1998; Henry et al. 2003; Jemison & Vayda 2001; Luna et al. 2001; Ma et al. 2004; Paterniani & Stort 1974; Stevens et al. 2004). Sin embargo, estas pruebas han sido realizadas en pequeñas parcelas y no a una escala comercial. Además pocos de estos estudios han hecho recomendaciones específicas con respecto a una distancia ideal de aislamiento requerida en términos de diferentes niveles de rigor para minimizar la polinización cruzada. Por ejemplo, diferentes tolerancias para la mezcla pueden ser aplicadas en las pruebas sobre campo bajo un uso confinado comparado a la producción de maíz diseñado como combustible. No existen datos publicados con respecto a la extensión de la polinización cruzada de maíz en África del Sur y las agencias reguladoras necesitan basar sus decisiones en datos existentes que no son necesariamente adaptables a África del Sur. Es por eso que el objetivo de este estudio, realizado de 2005 a 2007, fue la de determinar la extensión de la polinización cruzada de maíz bajo las condiciones sudafricanas en el contexto de prácticas agrícolas comerciales, de forma a informar al proceso regulatorio de toma de decisión, con respecto a las pruebas de campo con OGM.

Materiales y métodos

Las pruebas de campo fueron hechas en una parcela central con maíz amarillo GM (13.76 hectáreas), rodeada de maíz blanco no GM (13.76 hectáreas), en dos distintas regiones geográficas por dos temporadas con aislamiento temporal de los plantíos con maíz comercial a los alrededores. La poliniza-

ción cruzada entre el maíz GM y no GM fue determinada fenotípicamente, a través de 16 transectos, cada 2 m hasta 100 m y a partir de ahí cada 30 m hasta los 300 m. El polen fue capturado durante la floración en cuatro direcciones del viento y fue genotipado usando PCR. El conteo de polen durante la floración fue comparado con los datos del clima así como con los porcentajes de polinización cruzada. Los datos fueron transformados logarítmicamente y el porcentaje promedio de polinización cruzada fue comparada a la polinización cruzada más alta.

Resultados y discusión

Si bien hubo coherencia de manera general entre los datos del viento, la carga en polen y la polinización cruzada, es evidente que los datos de los vientos y la carga en polen no explican por sí solos la extensión direccional de la polinización cruzada. Suggerimos que vientos en forma de remolinos y algunos otros factores bióticos pueden contribuir a esta incongruencia. La polinización cruzada más importante se extiende de 54% a 82% ocurriendo a 2 m del donador de polen y decae fuertemente entre 20 a 25 m, una tendencia similar a otros estudios (Henry et al. 2003; Jemison & Vayda 2001; Luna et al. 2001; Ma et al. 2004). De manera interesante, un tope de porcentaje bajo de polinización cruzada fue observado aun a la distancia de muestreo más alejada. Hubo una fuerte correlación del promedio del porcentaje de polinización cruzada transformado en algoritmo sobre la distancia ($R^2=0.97$). Basándose en la transformación logarítmica de la polinización cruzada por la distancia, 50 m es suficiente para minimizar la polinización cruzada entre <1.0% y 0.1%, 159 m para <0.1% a 0.01% y 501 m para <0.01% a 0.001%. Sin embargo, una consideración al usar los valores promedio de polinización cruzada es que el potencial de polinización cruzada puede ser subestimado. Para probar esta hipótesis, realizamos una transformación logarítmica de los valores más altos de polinización cruzada sobre la distancia. Es importante observar que hubo una fuerte correlación entre los valores altos de polinización cruzada sobre la distancia ($R^2=0.95$). Basándose en estos valores, una distancia teórica de aislamiento de 135 m es necesaria para asegurar un nivel mínimo

de polinización cruzada entre $<1.0\%$ y 0.1% , 503 m para $<0.1\%$ a 0.01% y 1.8 km para $<0.01\%$ a 0.001% . Sin embargo, no es práctico el aplicar estas rigurosas distancias de aislamiento, especialmente cuando diferentes niveles de mezcla pueden ser requeridos. Es por eso que sugerimos una combinación de aislamiento temporal y de distancia, tomando en consideración las fuentes de polen de maíz GM dentro de un radio de la distancia más rigurosa de aislamiento requerida. También investigamos los cambios gráficos en el porcentaje de polinización cruzada sobre la distancia, a través de las diferentes ubicaciones en donde las pruebas fueron plantadas. Observamos que el cambio en el porcentaje de polinización cruzada sobre la distancia era similar a la comparación del promedio comparado con los valores altos de polinización cruzada. Basándose en la incongruencia entre la carga del polen, el medio ambiente y la polinización cruzada, así como tomando en consideración el promedio comparado con los valores altos de polinización cruzada, sugerimos que la carga de polen, el medio ambiente y las características fisiológicas reproductivas son factores para la determinación de la polinización cruzada.

Basándose en estos datos, hacemos las siguientes recomendaciones para obtener una polinización cruzada mínima a diferentes niveles de umbral:

- Pruebas de campo: Para minimizar el cruzamiento entre distintas especies a un nivel no detectable (0.01% - 0.001%) la distancia de aislamiento debe de ser de al menos 1.87 km. Esto puede ser difícil de lograr en términos prácticos y se recomienda el uso de una combinación de aislamiento espacial y temporal tomando en consideración:
 - o Aplicar un aislamiento temporal de cuatro semanas y una distancia mínima de 503 m del plantío de maíz más cercano.
 - o Aplicar un aislamiento de dos semanas a una distancia mínima de 1.87 km del plantío de maíz más cercano.
- Producción de semilla GM: Para prevenir el desarrollo de eventos apilados ilegales durante la producción de semillas, las recomendaciones para las pruebas sobre campo deben de ser aplicadas.
- Producción de semillas no GM con el propósito de exporta-

ción: Para cumplir los requisitos para exportar semillas no GM, es decir en donde lo GM no sea detectable, las recomendaciones para las pruebas sobre campo deben de ser aplicadas.

- Producción no GM: Dependiendo del umbral requerido para la producción no GM las siguientes medidas deben de ser aplicadas:

- o Umbral de 1% : Una distancia mínima de 135 m debe de ser aplicada. Puede ser difícil lograr esto en términos prácticos; en su lugar sugerimos el uso de una combinación de aislamiento espacial y temporal tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- o Aplicar un aislamiento temporal de cuatro semanas y una distancia mínima de 36 m del plantío de maíz más cercano.

- o Aplicar un aislamiento de dos semanas a una distancia mínima de 135 m del plantío de maíz más cercano.

- o Umbral de 0.1% : Una distancia mínima de 503 m debe de ser aplicada. Puede ser difícil lograr esto en términos prácticos; en su lugar sugerimos el uso de una combinación de aislamiento espacial y temporal tomando en cuenta las siguientes consideraciones:

- o Aplicar un aislamiento temporal de cuatro semanas y una distancia mínima de 135 m del plantío de maíz más cercano.

- o Aplicar un aislamiento de dos semanas a una distancia mínima de 503 m del plantío de maíz más cercano.

Referencias

- Aylor, D.E., Schultes, N.P. & Shields, E.J. 2003. An aerobiological framework for assessing cross-pollination in maize. *Agr Forest Meteorol* 119: 111-129. <http://tinyurl.com/2wqza2k>
- Bannert, M. & Stamp, P. 2007. Cross-pollination of maize at long distance. *Eur J Agron* 27: 44-51.] <http://tinyurl.com/2urbdn4>
- Burris, J.S. 2001. Adventitious pollen intrusion into hybrid maize seed production fields. Proceedings of 56th annual corn and sorghum research conference 2001. American Seed Trade Association, Inc., Washington, DC. http://www.amseed.com/govt_statementsDetail.asp?id=69
- Byrne, P.F. & Fromherz, S. 2003. Can GM and non-GM crops coexist? Setting a precedent in Boulder County, Colorado, USA. *Food, Agriculture and Environment* 1: 258-261. [http://www.colby.edu/biology/BI402B/Byrne & Fromherz 2003.pdf](http://www.colby.edu/biology/BI402B/Byrne%20&%20Fromherz%202003.pdf)

- Della Porta, G., de Ederle, D., Bucchini, L., Prandi, M., Verderio, A. & Pozzi, C. 2008. Maize pollen mediated gene flow in the Po valley (Italy): Source-recipient distance and effect of flowering time. *Eur J Agron* 28: 255-265. <http://tinyurl.com/33vof5>
- Department of Agriculture. 2005. Understanding genetically modified organisms (GMOs). <http://www.nda.agric.za/daDev/sideMenu/biosafety/doc/understandingGMOs.pdf>
- Garcia, M.C., Figueroa, J.M., Gomez, R.L., Townsend, R. & Schoper, J. 1998. Pollen control during transgenic hybrid maize development in Mexico. *Crop Sci* 38: 1597-1602.
- Henry, C., Morgan, D., Weekes, R., Daniels, R. & Boffey, C. 2003. Farm scale evaluations of GM crops: monitoring gene flow from GM crops to non GM equivalents in the vicinity: Part one forage maize, DEFRA report EPG/1/5/138. http://www.cib.org.br/estudos/estudos_cientificos_ambiental_14.pdf
- Huffman, W.E. 2004. Production, identity preservation, and labelling in a marketplace with genetically modified and non-genetically modified foods. *Plant Physiol* 134:3-10. <http://www.plantphysiol.org/cgi/content/full/134/1/3>
- James, C. 2009. Global status of commercialized biotech/GM crops: 2009. ISAAA Briefs no. 41. Ithaca, NY: International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. <http://tinyurl.com/ybvtvqwb>
- Jemison, J.M. & Vayda, M.E. 2001. Cross-pollination from genetically engineered corn: Wind transport and seed source. *AgBioForum* 4: 87-92. <http://www.agbioforum.org/v4n2/v4n2a02-jemison.htm>
- Luna, S.V., Figueroa, J.M., Baltazar, B.M., Gomez, R.L., Townsend, R. & Schoper, J.B. 2001. Maize Pollen Longevity and Distance Isolation Requirements for Effective Pollen Control. *Crop Sci* 41: 1551-1557. <https://www.agronomy.org/publications/cs/abstracts/41/5/1551>
- Ma, B.B., Subedi, K.D., Reid, L.M. 2004. Extent of cross fertilization in maize by pollen from neighbouring transgenic hybrids. *Crop Sci* 44: 1273-1282.
- Moschini, G. 2006. Pharmaceutical and industrial traits in genetically modified crops: Coexistence with conventional agriculture. *Am J Agr Econ* 88: 1184-1192. http://www.econ.iastate.edu/sites/default/files/publications/papers/paper_12666.pdf
- Paterniani, E. & Stort, A.C. 1974. Effective maize pollen dispersal in the field. *Euphytica* 23: 129-134. <http://www.springerlink.com/content/j46770764q814u54/>
- Stevens, W.E., Berberich, S.A., Sheckell, P.A., Wiltse, C.C., Halsey, M.E., Horak, M.J. & Dunn, D.J. 2004. Optimizing pollen confinement in maize grown for regulated products. *Crop Sci* 44: 2146-2153.

Patentando Genes y Plantas

Los Derechos de Propiedad Intelectual Transforman la Investigación y la Innovación Agrícola

*Lim Li Ching, M. Phil.
Third World Network, Malasia*

Introducción

Los derechos de propiedad intelectual (DPI) son derechos exclusivos (monopolio) otorgados a un inventor por un periodo limitado de tiempo a cambio de una divulgación pública de una invención. Las patentes son un tipo de propiedad intelectual protegidas por leyes nacionales y legalmente aplicables en el país en donde se solicita y en donde se obtiene. Una patente puede ser otorgada si reúne los criterios siguientes: que sea novedosa, que involucre un mérito inventivo y que sea aplicable industrialmente (útil). Los estándares globales mínimos de los derechos de propiedad intelectual son impuestos por el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (Acuerdo ADPIC) de la Organización Mundial de Comercio (OMC), los cuales deben estar implementados nacionalmente por los miembros de la OMC. Las patentes deben de ser disponibles para cualquier tipo de invención, productos o procesos, en todos los campos tecnológicos. Algunas excepciones son per-

mitidas con respecto a ciertos intereses públicos. De acuerdo con ADPIC, el plazo mínimo de tiempo para la protección de una patente es de 20 años.

Patentando genes y plantas

En un inicio los organismos vivos no fueron considerados como material patentable, pero esto cambió con la decisión de la Suprema Corte de los Estados Unidos en el caso *Diamond vs. Chakrabarty* en 1980, al respaldar la patente de una bacteria genéticamente modificada (GM) capaz de digerir petróleo. A partir de ese momento, muchas legislaciones nacionales han abierto la posibilidad de patentar microorganismos, células, genes y otros subcomponentes celulares (Correa, 2010). Al mismo tiempo, el Artículo 27.3(b) del Acuerdo ADPIC obliga a los miembros de la OMC a patentar microorganismos y a proteger las variedades vegetales (usando patentes, un sistema efectivo *sui generis*, o una combinación de ambos). Mientras que bajo el Acuerdo ADPIC las plantas y los animales pueden estar excluidos de patentabilidad, sigue latente la posibilidad de que puedan ser patentados. Un número importante de acuerdos de libre comercio promocionados por los Estados Unidos y la UE han solicitado la expansión de la protección por patentes al material biológico, en particular a las plantas (Correa, 2010). Como resultado de esto, se han otorgado “patentes sobre la vida” a secuencias de ADN, genes, líneas celulares, microorganismos, organismos GM, plantas y animales, etc. Estas patentes reflejan la mercantilización de los recursos genéticos, y los retornos potenciales monetarios han otorgado incentivos para la “biopiratería” - la monopolización de los recursos genéticos y de los conocimientos tradicionales asociados tomados sin previo consentimiento o conocimiento de los pueblos o comunidades rurales que desarrollaron y nutrieron estos recursos -.

¿Cuáles son las implicaciones?

Esta discusión se centra en las implicaciones de las patentes sobre los genes, las semillas y los organismos GM, una situación

que ha planteado diversas perspectivas de relevancia para la subsistencia y la seguridad alimentaria, la innovación agrícola, la propiedad y el control de recursos agrícolas, y la investigación, incluyendo la investigación en bioseguridad. El creciente uso de estas patentes ayuda a la consolidación de las compañías semilleras, agroquímicas y biotecnológicas, teniendo como consecuencia la dependencia progresiva de la alimentación y de la agricultura en un pequeño número de poderosas corporaciones multinacionales (Heinemann, 2009). Un ejemplo del vasto alcance de estas corporaciones se encuentra personificado en la propiedad por parte de Monsanto de la patente europea de toda soya GM desde 1996. Esta patente fue revocada en 2007 debido a la oposición por parte de la sociedad civil. En ese periodo Monsanto logró tomar el control de 90 por ciento del mercado global de la soya GM. Tales monopolios han provocado la reducción de la competitividad, y un incremento en el costo para los agricultores (IAASTD, 2009). Más amplio aun, son las patentes que dependen de homologías genéticas para reclamar componentes genéticos de organismos a través de diversos grupos taxonómicos, un ejemplo es el intento de Syngenta de reclamar el control en forma de monopolio de secuencias genéticas básicas que regulan la floración y la arquitectura de la planta en el arroz. El alcance de la solicitud de patente era tan amplia que se extendía a otros cereales importantes y a otras plantas que florecen (Oldham, 2005).

Otro aspecto preocupante es el intento reciente por parte de Monsanto de extender el alcance de sus patentes a partir de información genética a los productos derivados, aun cuando tal información no tiene ninguna función (Correa, 2007). Monsanto demandó a importadores europeos de alimento a base de soja producida con semillas Roundup Ready en Argentina, erigiendo barreras de comercio al forzar al gobierno argentino a imponer a los agricultores una “comisión tecnológica”, aunque el transgen se encontrara dentro del dominio público en Argentina. Monsanto retiró su demanda en 2010 y un tiempo después la Corte Europea de Justicia otorgó su fallo en contra de la compañía.

Dado que los transgenes son patentados, guardar semillas GM en países como los Estados Unidos constituye una infracción en patente y ha provocado demandas judiciales en contra de agricultores por la sospecha de guardar semillas. Hasta el 26 de octubre del 2007, Monsanto ha presentado 112 demandas judiciales, involucrando a 372 agricultores y 49 empresarios de pequeñas granjas, y ha ganado más de \$21 millones (Center for Food Safety, 2005, 2007). Sin embargo, la mayoría de los casos iniciados por Monsanto han terminado en arreglos confidenciales fuera de la corte, lo que no refleja una defensa agresiva de sus patentes. Los derechos de los agricultores de guardar, usar, intercambiar y vender sus semillas se encuentran amenazados por estas patentes, lo que puede tener implicaciones importantes para la seguridad alimentaria. En muchos países en vías de desarrollo, las semillas guardadas representan un porcentaje muy alto de la semilla usada, alcanzando más de 80 por ciento de los cultivos de autopolinización y de subsistencia (Correa, 2010). Además, la experimentación por parte de los agricultores también se puede ver restringida, reduciendo la contribución crucial de los agricultores a la agrobiodiversidad y al desarrollo de semillas (Heinemann, 2009; IAASTD, 2009).

De manera paralela a esta tendencia a la concentración por parte de las corporaciones en la agricultura, se encuentra la creciente privatización de la investigación agrícola, teniendo al sector privado gastando en el 2000 más de 30 veces el presupuesto de todo el sistema de investigación agrícola internacional del CGIAR (Kiers et al., 2008, cited in Heinemann, 2009). Este cambio del sector público al sector privado tiene varias implicaciones en las innovaciones que se encuentran en camino, con los productos de la biotecnología atrayendo una parte desproporcionada del financiamiento. Además, encamina la educación y el entrenamiento científico hacia ciertas vías dejando de lado otras (IAASTD, 2009). Las patentes en genes y plantas también pueden convertirse en barreras para el acceso y para la adopción rápida de nuevos productos ya que crean obstáculos para la investigación y el desarrollo local (IAASTD, 2009). De la misma forma, la tenencia de la se-

cuencia de ADN de un gen significa la extensión de la propiedad a las tecnologías usadas y a las aplicaciones de esta información, por ejemplo el diagnóstico usado para identificar un gen como un marcador molecular en aplicaciones tales como el mejoramiento asistido por marcadores moleculares (Heinemann, 2009). Un ejemplo en el campo de la medicina son las patentes de Myriad Genetics en los genes BRCA1 y BRCA2, genes asociados con una mayor susceptibilidad a cáncer de seno y de ovarios, las cuales aseguraron el derecho exclusivo de las pruebas de diagnóstico. Recientemente las patentes de Myriad fueron decretadas como inválidas, a partir de lo cual la empresa comenzará un proceso de apelación.

Otra preocupación son las dificultades a las que se confrontan los investigadores en bioseguridad al intentar obtener muestras para conducir una investigación independiente sobre los riesgos relacionados con los cultivos GM, lo que es necesario para asegurar que sus impactos sean correctamente medidos, evaluados y comprendidos (Heinemann, 2009; Scientific American, 2009). Veintiséis expertos científicos en insectos del maíz, trabajando para instituciones de investigación públicas de los Estados Unidos, presentaron un documento a la Agencia de Protección Ambiental en 2009, declarando: "Los acuerdos tecnológicos y de gestión requeridos para adquirir semillas genéticamente modificadas prohíben explícitamente la investigación ...inhibiendo a los científicos públicos el perseguir su papel, requerido en representación del bien común, a menos de que la investigación sea aprobada por la industria. Como resultado del acceso restringido, no puede existir investigación realmente independiente en muchos cuestionamientos críticos con respecto a la tecnología, su desempeño, sus implicaciones de gestión, MIP, y sus interacciones con la biología de los insectos." (Anónimo, 2009). Esta alerta es "pertinente a todos los cultivos transgénicos y todos los científicos del sector privado de cualquier disciplina que intentan realizar investigación con cultivos transgénicos" (Sappington et al., 2010). Mientras que se espera que los investigadores busquen permiso por parte de las compañías semilleras, éste es algunas veces denegado o los términos del acuerdo de investigación pueden

limitar o controlar la publicación del estudio, así como la diseminación y el diseño pueden estar excesivamente influenciados por los colaboradores industriales (Sappington et al., 2010). Un intento para resolver esta situación ha resultado en un documento con ciertos principios diseñado para proteger los derechos de propiedad legítimos de las compañías y al mismo tiempo que permitan la independencia a científicos públicos, al conducir la investigación sobre semillas transgénicas comercializadas (Sappington et al., 2010). Falta aún por ver, si tales esfuerzos pueden corregir estas situaciones, por el momento ambos lados reconocen un progreso. Por otro lado, la creciente participación y financiamiento por parte del sector privado tiene influencia en la manera en la que la investigación es realizada, mostrando problemáticas ligadas al conflicto de interés y creando preguntas sobre la parcialidad de los resultados (IAASTD, 2009). Finalmente, las agencias reguladoras también pueden enfrentarse a dificultades al intentar obtener materiales GM patentados, por ejemplo para detectar la presencia de transgenes para monitorear una posible contaminación.

Conclusión

Se han realizado invitaciones importantes para buscar una reforma del marco global de DPI, y en particular en el sistema de patentes, especialmente en relación con la agricultura (IAASTD, 2009). Dentro de la OMC, existen discusiones y propuestas para clarificación y enmiendas del acuerdo ADPIC para asegurar que los organismos vivos no sean patentables y que toda aplicación de patente concierne a los recursos genéticos y al conocimiento tradicional esté acompañada de requisitos de divulgación. Desde el punto de vista nacional, existe todavía un espacio considerable para el diseño de leyes y políticas de propiedad intelectual en pro del desarrollo, que sean sensibles a los intereses agrícolas (Correa, 2010). Otros pasos en la dirección adecuada son el reconocimiento de los derechos de los agricultores y de la contribución de las comunidades indígenas y locales a la biodiversidad agrícola, así como la elaboración del Protocolo de Acceso y Participación en los Beneficios de la Convención de Diversidad Biológica (CBD).

Referencias

- Anónimo. 2009. <http://www.regulations.gov/search/Regs/home.html#documentDetail?R=090000648084de39>
- Center for Food Safety. 2005 (updated 2007). Monsanto vs. U.S. farmers. CFS, Washington DC and San Francisco. <http://www.centerforfoodsafety.org/Monsantovsusfarmersreport.cfm>
- Correa, C.M. 2007. The Monsanto vs. Argentina Dispute on GM Soybean. *Third World Resurgence* No. 203-204, pp. 13-16.
- Correa, C.M. 2010. Designing intellectual property policies in developing countries. *Third World Network*, Penang. http://www.twinside.org.sg/title2/books/Designing_Intellectual_Property_Policies_in_Developing_Countries.htm
- Heinemann, J.A. 2009. Hope not hype: The future of agriculture guided by the International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. *Third World Network*, Penang. <http://www.twinside.org.sg/title2/books/Hope.not.Hype.htm>
- IAASTD. 2009. Agriculture at a crossroads. International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development. Island Press, Washington DC. <http://www.agassessment.org/>
- Oldham, P. 2005. Global status and trends in intellectual property claims: Genomics, proteomics and biotechnology. Submission by the European Community for the Third Meeting of the Ad Hoc Open-Ended Working Group on Access and Benefit-Sharing. UNEP/CBD/WG-ABS/3/INF/4, 11 January 2005. <http://www.cbd.int/doc/meetings/abs/abswg-03/information/abswg-03-inf-04-en.pdf>
- Sappington, T.W., Ostlie, K.R., DiFonzo, C., Hibbard, B.E., Krupke, C.H., Porter, P., Pueppke, S., Shields, S.J. & Tollefson, J.J. 2010. Conducting public sector research on commercialized transgenic seed: In search of a paradigm that works. *GM Crops* 1 (2): 55-58.
- Scientific American. 2009. Do seed companies control GM crop research? Editorial, August 2009 edition, published 21 July 2009. <http://www.scientificamerican.com/article.cfm?id=do-seed-companies-control-gm-crop-research>

Evaluando la Contribución de los Rasgos Genéticamente Modificados al Rendimiento de los Cultivos¿Adopción o Alternativas para la Política Agrícola?

Dr. David Quist
GenØk – Centro de Bioseguridad, Noruega⁶

EL aumento de los precios en los alimentos, una inadecuada distribución, un crecimiento acelerado de la población y de la pobreza, y más recientemente el cambio climático son problemáticas centrales de la producción global de alimentos. Mientras que la investigación agrícola se ha centrado desde hace mucho tiempo en el objetivo de aumentar los rendimientos, los medios efectivos y sustentables para aumentar la productividad de los cultivos pueden ser altamente dependiente del contexto en diferentes regiones de producción y en distintas condiciones socioeconómicas. La ingeniería genética de los cultivos vegetales ha sido promocionada como un importante medio para el mejoramiento de los rendimientos de los cultivos alimenticios de base, y ha tenido una generalizada percepción pública como tal. Pocas veces ha sido considerado el identificar de forma aislada la contribución de las distintas variables que afectan la productividad de los cultivos, al momento de evaluar la dirección de la agricultura. Una investigación reciente intenta entender la contribución de la ingeniería genética en el aumento del rendimiento de los cultivos.

⁶ En cooperación con Dr. Doug Gurian-Sherman, de la Union de Científicos Concernidos, Estados Unidos

El reporte Failure to Yield ("Fracaso al Producir" por Gurian-Sherman 2009) muestra que a pesar del enorme esfuerzo y gasto realizado, la ingeniería genética (en particular analizando la productividad del maíz y la soya) ha logrado aumentar solamente el rendimiento de un cultivo alimenticio importante en los Estados Unidos, siendo esta contribución menor, al ser comparada con la de otros métodos disponibles. Basándose en este reporte, parece ser que los datos actuales de la contribución de la ingeniería genética al rendimiento no justifica la inversión masiva de recursos que se le ha dado a su investigación y desarrollo. En esta presentación, se discutirán los hallazgos en Failure to Yield que se basan en más de una década de cultivos y de una docena de estudios sobre el rendimiento en los Estados Unidos. El reporte formula cuatro distintas conclusiones que se basan empíricamente:

1. La ingeniería genética no ha aumentado el rendimiento intrínseco

No existen actualmente variedades transgénicas que aumenten el rendimiento intrínseco de los cultivos. Los rendimientos intrínsecos de maíz y soya han aumentado en el siglo XX, pero el aumento no se debe a los rasgos GM. Este aumento se debe a los éxitos en el mejoramiento tradicional de plantas.

2. La ingeniería genética solamente ha logrado ganancias mínimas en cuanto al rendimiento operacional

Maíz y soya tolerante a herbicida. Si bien es cierto que los datos existentes no son suficientes para desarrollar estimaciones precisas sobre el rendimiento, los datos más óptimos muestran que los cultivos transgénicos de maíz y la soja tolerante a herbicida no han aumentado los rendimientos operacionales, ya sea por superficie o en una base nacional, en comparación con los métodos convencionales que dependen de otros herbicidas disponibles. El hecho de que la soja tolerante a herbicida haya sido tan ampliamente aceptada sugiere que ciertos factores, como menores costos energéticos y conveniencia, también influyen en la elección de los agricultores, y pueden producir beneficios que son independientes al rendimiento.

Maíz Bt para Controlar las Pestes por Insectos. Al combinar los valores obtenidos para el maíz Bt resistente al insecto barrenador Europeo, y para el maíz Bt resistente al gusano de la raíz, obtenemos una estimación del incremento del rendimiento a partir de las características Bt de 1.3-5.5 por ciento. Un aumento de cerca del 3.3 por ciento, o un rango de 3-4 por ciento, es un promedio razonable. Al promediar cerca de 13 años desde que el maíz Bt se comercializó por primera vez en 19996, obtenemos 0.2-0.3 por ciento de aumento de rendimiento al año.

3. La mayor parte de los aumentos de rendimiento observados son atribuidos a enfoques distintos a la ingeniería genética

De manera general en las décadas pasadas, los rendimientos del maíz en los Estados Unidos aumentaban en promedio cerca de 1 por ciento al año, esto es considerablemente un aumento mayor al aumento en rendimiento a partir de las variedades de maíz Bt. Recientemente, los datos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos indican que el promedio nacional de la producción de maíz por acre en los últimos cinco años (2004-2008) fue 28 por ciento mayor al período de 1991-1995, un intervalo anterior a la introducción de las variedades Bt, esto quiere decir un promedio cercano a 2 por ciento al año⁷. Pero nuestro análisis de los estudios de los rendimientos específicos concluye que solamente alrededor del 3-4 por ciento de este aumento se le atribuye a los cultivos Bt, esto significa que el aumento del 24-25 por ciento proviene de otros factores como el mejoramiento convencional y el número de plantas de maíz por unidad de superficie. Los rendimientos también han continuado su aumento en otros cultivos, incluyendo la soja (la cual no ha experimentado ningún incremento en el rendimiento intrínseco u operacional con el uso de OGM) y de trigo (para el cual no existen variedades comerciales transgénicas). Al comparar el aumento de rendimiento en recientes intervalos, los aumentos fueron del 16 por ciento en soja y del 13 por ciento en trigo. De manera general, como se discutió anteriormente, los cultivos GM han contribuido modestamente a los aumentos de rendimiento en

⁷ Los rendimientos operacionales e intrínsecos no pueden ser distinguidos en estas cifras agregadas sobre el rendimiento.

la agricultura de los Estados Unidos en comparación con la contribución de las prácticas de mejoramiento convencional.

4. Los cultivos experimentales genéticamente modificados para el aumento de rendimiento no han tenido éxito

Desde 1987 se han realizado miles de pruebas sobre terreno con cultivos GM experimentales. Aunque no es posible determinar los números precisos de genes para el aumento de rendimiento en estas pruebas (debido a las preocupaciones de información confidencial por parte de los desarrolladores), es evidente que muchos de estos transgenes para rendimiento han sido puestos a pruebas en los últimos años. A pesar de estos esfuerzos, solamente los transgenes Bt y de tolerancia a herbicida, así como cinco transgenes de resistencia patógena, han sido comercializados en superficies limitadas, y solo Bt ha tenido un impacto apreciable en los rendimientos agregados .

¿Cuáles son las perspectivas de la ingeniería genética con respecto al aumento de rendimiento?

94

Los ingenieros genéticos continúan identificando nuevos genes que puedan aumentar de manera intrínseca u operacional los rendimientos. ¿Qué tan probable es que estos genes produzcan nuevas variedades viables comercialmente? Dada la variedad de transgenes analizados, es de esperarse que algunos de ellos sean eventualmente exitosos en aumentar el rendimiento. Aun así sigue siendo incierto el saber cuántos de estos serán viables comercialmente debido a la complejidad biológica y fisiológica, y a sus efectos colaterales impredecibles; también el traer nuevos rasgos al mercado sugiere precaución en confiarse de sobremanera en su éxito. Para resumir, los únicos cultivos que han demostrado aumentar significativamente el rendimiento en los Estados Unidos son las variedades de maíz Bt, con ganancias contribuidas en rendimiento operacional que fueron considerablemente menores en sus 13 años en comparación con otros métodos. Este efecto positivo de los cultivos Bt puede tener una duración

8 La papaya GM resistente a virus ha prevenido la pérdida de rendimiento, pero solamente se produce en algunas cuantas acres de Hawái y por lo tanto no contribuye de manera significativa al rendimiento agrícola de los Estados Unidos.

muy corta, debido a la evolución emergente de la resistencia por parte las plagas blanco (Tabashnik et al. 2009), lo que aumenta la aspersión de pesticidas en campos Bt por algunos productores.

Discusión: Enfoques alternativos para aumentar el rendimiento

Dada la gran inversión y débil rédito por parte de la ingeniería genética en cuanto al aumento del rendimiento de los cultivos, es tiempo de tomar con mayor seriedad las otras opciones del paquete de herramientas agrícolas. Para poder invertir de manera adecuada en el futuro, debemos evaluar las herramientas agrícolas para escoger aquellas que cumplan con las mejores promesas para aumentar los rendimientos intrínsecos y operacionales así como proporcionar otros beneficios. Estudios recientes han mostrado que los métodos de bajos insumos externos como la agricultura orgánica puede mejorar los rendimientos en un 100 por ciento, trayendo consigo también otros beneficios (Badgley et al. 2007). Tales métodos tienen la ventaja de basarse exclusivamente en los conocimientos en lugar de basarse en insumos costosos, y por lo tanto son más accesibles a los agricultores pobres en comparación con las tecnologías más caras (las que muchas veces no ayudaron en el pasado). Mientras tanto, los métodos de mejoramiento convencional, especialmente aquellos que usan los enfoques de la biotecnología moderna (algunas veces llamados selección asistida con marcadores moleculares y que son distintos de la ingeniería genética) tienen el potencial de aumentar tanto el rendimiento intrínseco como el operacional. También es posible reducir las pérdidas causadas por insectos y otras plagas usando un número más grande de cultivos y aumentando las rotaciones de los cultivos (que actualmente son poco ecológicas al ser solamente de maíz y soja).

Implicaciones y opciones futuras

¿En dónde puede la inversión en I&D agrícola producir con pocos riesgos y pocas barreras reguladoras una mayor canti-

dad de beneficios? ¿Qué tipo de desarrollos agrícolas puede conllevar a soluciones más sustentables en un contexto dado? ¿Qué regímenes de acceso, de propiedad y de administración contribuirán en la mayor medida a la seguridad alimentaria? La evidencia que confirma la importancia del mejoramiento y de la diversidad genética de las plantas cultivables debe colocar los efectos de la consolidación del acceso y de la propiedad de la diversidad genética de los cultivos mundiales claramente como un tema prioritario para las políticas nacionales e internacionales en temas de agricultura. Por lo tanto, el poner demasiada prioridad en la ingeniería genética para el desarrollo de cultivos puede provocar una pérdida de oportunidades. Las agencias de agricultura nacionales, estatales y locales, así como las universidades públicas y privadas deben considerar el redireccionamiento sustancial del financiamiento, de la investigación y de los incentivos hacia enfoques que han sido demostrados y que dan prueba de una mayor promesa con respecto a la ingeniería genética para mejorar los rendimientos de los cultivos, especialmente los rendimientos intrínsecos y que puedan proveer otros beneficios sociales. Estos enfoques incluyen métodos modernos de mejoramiento convencional de plantas así como la agricultura orgánica y otras prácticas sofisticadas de bajos insumos. La mejora de la base genética para el aumento de rendimiento y para la manutención de la diversidad genética, a través del mejoramiento y la selección (la que puede incluir o no la biotecnología) será seguramente esencial para la producción agrícola sustentable.

La biotecnología tendrá que tomar, sin lugar a dudas, un rol distinto si quiere aumentar en un futuro el rendimiento de los cultivos, pero la evidencia hasta el día de hoy sugiere que la ingeniería genética (como una sola forma de biotecnología) no parece contribuir sustancialmente a los beneficios sustentables o predecibles del rendimiento. Dado las incertidumbres con respecto al cambio climático y en la sustentabilidad de los modelos dominantes de agricultura, parece ser que el mejoramiento y la selección tradicional siguen poseyendo la mayor capacidad para asegurar una cosecha alimenticia

mundial sustentable y productiva en el futuro próximo.

Referencias

- Badgley, C; Moghtader, J; Quintero, E; Zakem, E; Chappell, MJ; Aviles-Vazquez, K; Samulon, A; and Perfecto, I, 2007. Organic agriculture and the global food supply. *Renewable Agriculture and Food Systems* 22(2): 86-108. <http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract?fromPage=online&aid=1091304>
- Gurian-Sherman, D., 2009. *Failure to Yield*. Union of Concerned Scientists, Cambridge, MA, USA, 43 pp. http://www.ucsusa.org/assets/documents/food_and.../failure-to-yield.pdf
- Tabashnik, BE; Van Rensburg, JBJ; and Carriere, Y, 2009. Field-evolved Insect Resistance to Bt Crops: Definition, Theory, and Data. *J. Econ. Entomol.* 102(6): 2011-2025. <http://www.entsoc.org/btcrops.pdf>

Las Plagas Blanco Resistentes a Bt – Una Rápida Incidencia en África del Sur

*Prof. Johnnie van den Berg
Universidad North-West, África del Sur*

98

EL maíz es el alimento de base en África. El lepidóptero barrenador del tallo limita de manera seria los rendimientos del maíz al infestar el cultivo durante su crecimiento, desde la plántula hasta su madurez. Los insectos más importantes de esta especie son el barrenador moteado del tallo *Chilo partellus* (Lepidoptera: Crambidae), y el barrenador africano del tallo, *Busseola fusca* (Lepidoptera: Noctuidae).

La llegada del maíz Bt

A través del uso de la biotecnología moderna algunas soluciones efectivas para el control del barrenador del tallo de maíz han sido desarrolladas. El maíz Bt, que expresa la proteína Cry1Ab, fue inicialmente desarrollado para el control de dos especies de barrenador de Norteamérica, *Ostrinia nubilalis* (Lepidoptera: Crambidae) y *Diatraea grandiosella* (Lepidoptera: Crambidae). Estos productos también otorgan un control efectivo en larvas de la palomilla como aquellas del género *Chilo*, y otorgan un control parcial a muy bueno contra las palomillas nocturnas de los géneros *Sesamia* y *Busseola* (Van den Berg and Van Wyk, 2007).

Desde la primera puesta en práctica de los cultivos genéticamente modificados (GM) con propiedades insecticidas, ha habido preocupaciones con respecto al desarrollo de resistencia en las plagas objetivo y sus posibles efectos no objetivo (Tabashnik, 1994; Gould, 1998). Cuando la resistencia al maíz Bt se desarrolle, los agricultores tendrán que dar marcha atrás a 15 años en sus estrategias de manejo de plagas y en el caso de que la proteína Bt interrumpa las interacciones benéficas en los agroecosistemas esto provocaría un aumento de la presencia de plagas y/o el desarrollo de plagas secundarias.

Entre 1994 y 1997 varios eventos de Bt fueron evaluados bajo una infestación artificial de plagas en África del Sur. El evento MON810 del gen Cry1Ab suministró un control superior a todos los otros eventos analizados y de manera subsecuente fue aprobado para su liberación (Van Rensburg, 1999). El maíz Bt ha sido plantado en África del Sur desde 1998 y actualmente el país es el octavo productor más importante de cultivos GM en el mundo.

La percepción de los agricultores sobre el maíz Bt en África del Sur

99

Una estudio conducido por Kruger et al. (2009) mostró que los beneficios más importantes asociados con el maíz Bt era la conveniencia en el manejo de la plaga objetivo. Sin embargo, el maíz Bt otorga una ventaja solamente si la plaga objetivo se encuentra presente. En África del Sur los agricultores se han beneficiado de la adopción del maíz Bt desde su puesta en práctica en 1998 (Gouse et al., 2005). A pesar de pagar más por la semilla, aquellos que la adoptaron obtuvieron un aumento en sus ingresos con respecto a las variedades de maíz convencional dado el ahorro en pesticidas y el aumento de rendimiento debido a un mejor control de plagas. Los agricultores también indicaron que no necesitaban explorar sus campos en búsqueda de plagas dado que asumían que la tecnología era efectiva.

Desarrollo de resistencia

Dos años después de cultivar maíz Bt en África del Sur, se descubrieron daños por el barrenador del tallo en varios híbridos de maíz Bt (Van Rensburg, 2001). Van Wyk et al. (2007) también reportaron la presencia de larvas de *B. fusca* en plantas maduras de maíz Bt. Dado que no ocurrió daño en la hoja durante las etapas de crecimiento vegetativo, este daño indicó la sobrevivencia de larvas en las plantas por un periodo que abarcaba desde la aparición de la borla hasta la formación de los granos (Van Rensburg, 2001). No se pudieron atribuir pérdidas en el rendimiento debido a estas infestaciones, pero la observación causó preocupación debido a la posibilidad de que infestaciones similares pudieran en el futuro resultar en daño significativo a la mazorca. Esta preocupación tuvo solamente su "importancia" debido al hecho de que podría significar una pérdida de rendimiento y en ese momento no se inició ninguna alerta sobre la posibilidad de un desarrollo de resistencia.

El primer reporte oficial de resistencia por parte de una plaga al maíz Cry1Ab fue dado a conocer en África del Sur en 2007. Este reporte sobre la resistencia de *B. fusca* en maíz Bt (Van Rensburg, 2007) mostró que en ciertas ubicaciones algunas larvas eran capaces de sobrevivir al maíz Bt.

En el mismo año del primer reporte de resistencia de *B. fusca*, otra población resistente fue observada por agricultores en el esquema de irrigación Vaalharts, aproximadamente a 50 km del sitio inicial. Los estudios que le dieron seguimiento mostraron que las larvas sobrevivían al maíz Bt y las larvas colectadas fueron reproducidas por cuatro generaciones en plantas de maíz Bt en el laboratorio. Este último estudio también indicó que las larvas colectadas a partir del refugio de maíz no Bt podían sobrevivir al maíz Bt. Esto indica que la eficiencia de la estrategia de alta dosis-refugio podía verse comprometida en esta región geográfica.

El análisis hasta el 2008 de más de una década de datos sobre

monitoreo de resistencia en seis especies de lepidópteros que son blanco del maíz y del algodón Bt sugiere que los principios de la estrategia de refugio se pueden aplicar al campo para limitar el desarrollo de resistencias (Tabashnik et al., 2008). Hasta la fecha la evolución sobre terreno de la resistencia ha sido detectada en África del Sur solamente para *B. fusca* (Van Rensburg, 2007), en el sureste de los Estados Unidos solamente con *Helicoverpa zea* (Lepidoptera: Noctuidae) (Tabashnik, 2008) y con *Spodoptera frugiperda* (Lepidoptera: Noctuidae) en Puerto Rico (Gassman et al., 2009). La resistencia al algodón Bt por parte del gusano rosado *Pectinophora gossypiella* (Lepidoptera: Gelechiidae) ha sido reportada en India. La creciente aparición de estas plagas resistentes al Bt durante los últimos 4 años indica que la velocidad de la evolución de la resistencia predicha fue seriamente subestimada y emite dudas sobre el uso de esta tecnología en el futuro.

Refugios

Los refugios forman una parte importante de las estrategias de manejo de resistencia de insectos. Los refugios son definidos como hábitats en donde la plaga objetivo no se encuentra bajo presión de selección por la toxina y por lo tanto proporciona un hábitat sustentable para el desarrollo de la plaga. La estrategia de alta dosis/refugio, empleada para limitar el desarrollo de resistencia, comprende una combinación de plantas de maíz Bt produciendo altas dosis de la toxina y plantas no Bt a una distancia cercana. El principio de esta estrategia consiste en que cualquier insecto resistente, surgido de los cultivos Bt, tiene mayor probabilidad de aparearse con uno de la gran cantidad de insectos plagas susceptibles que aparecen a partir de los refugios que con uno resistente, reduciendo de esta manera la selección de los alelos de resistencia a Bt.

¿Por qué la resistencia se desarrolló de manera tan rápida en África del Sur?

Si bien plantar refugios es obligatorio, el nivel de cumplimiento entre 1998 y 2006 fue demostrado ser muy bajo en la región

en donde la resistencia fue reportada en África del Sur (Kruger et al., 2009). La investigación también demostró que las palomillas de *B. fusca* preferían el maíz irrigado, lo que pudo haber contribuido al aumento de la presión de selección hacia una evolución de la resistencia a la toxina Bt (Van Rensburg, 2007). Van Wyk et al. (2007) también indicaron que el fuerte vínculo del barrenador del tallo con el ecosistema del maíz en áreas de irrigación coincidiendo con plantar específicamente el maíz Bt en estos sistemas, resulta en una fuerte presión de selección para la evolución de resistencia.

El creciente nivel de resistencia observado para *B. fusca* se debe por una parte a la falta de cumplimiento por parte de los productores con el principio del refugio (Kruger et al., 2009). Sin embargo, en retrospectiva, parece que los eventos Bt actualmente disponibles para el control de *B. fusca* no cumplen tampoco con los requisitos de una dosis alta. La resistencia de plagas al maíz Bt resultaría de una combinación de fechas tardías de siembra con niveles elevados de infestaciones, combinados con la falta de cumplimiento de los requisitos de refugio. Una lección que puede ser aprendida a partir de este caso es que en las áreas en las que la adopción de la tecnología Bt es muy alta, se debe de dar seguimiento y verificar el cumplimiento de la estrategia de refugio.

Referencias

- Gassman, A.J., Carrière, Y. & Tabashnik, B.E. 2009. Fitness costs of insect resistance to *Bacillus thuringiensis*. *Annu. Rev. Entomol.* 54: 147 – 163. <http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.ento.54.110807.090518>
- Gould, F. 1998. Sustainability of transgenic insecticidal cultivars: integrating pest genetics and ecology. *Annu. Rev. Entomol.* 43: 701-726. <http://tinyurl.com/322y3p2>
- Gouse, M., Pray, C.E., Kirsten, J. & Schimmelpfenning, D. 2005. A GM subsistence crop in Africa: the case of Bt white maize in South Africa. *Int. J. Biotech.* 7: 84 – 94. http://www.inderscience.com/search/index.php?action=record&rec_id=6447
- Kruger, M., Van Rensburg, J.B.J. & Van den Berg, J. 2009. Perspective on the development of stem borer resistance to Bt maize and refuge compliance at the Vaalharts irrigation scheme in South Africa.

Crop Protect. 28: 684 – 689. <http://tinyurl.com/354kl4d>

- Tabashnik, B.E. 1994. Evolution of resistance to *Bacillus thuringiensis*. Annu. Rev. Entomol. 39: 47-79. <http://arjournals.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.en.39.010194.000403>

- Tabashnik, B.E. 2008. Delaying insect resistance to transgenic crops. PNAS 105: 19029-19030. <http://www.pnas.org/content/105/49/19029.full>

- Tabashnik, B.E., Gassman, A.J., Crowder, D.W. & Carrière, Y. 2008. Insect resistance to Bt crops: evidence versus theory. Nature Biotech. 26: 199-202. <http://www.nature.com/nbt/journal/v26/n2/abs/nbt1382.html>

- Van den Berg, J. & Van Wyk, A. 2007. The effect of Bt maize on *Se-mamia calamistis* in South Africa. Ent. Exp. Applic. 122: 45-51. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1570-7458.2006.00492.x/abstract>

- Van Rensburg, J.B.J. 1999. Evaluation of Bt-transgenic maize for resistance to the stem borers *Busseola fusca* (Fuller) and *Chilo partellus* (Swinhoe) in South Africa. S. Afr. J. Plant Soil 16: 38-43.

- Van Rensburg, J.B.J. 2001. Larval mortality and injury patterns of the African stalk borer, *Busseola fusca* (Fuller) on various plant parts of Bt-transgenic maize. S. Afr. J. Plant Soil 18: 62-68.

Van Rensburg, J.B.J. 2007. First report of field resistance by the stem borer, *Busseola fusca* (Fuller) to Bt-transgenic maize. S. Afr. J. Plant Soil 24: 147-151.

- Van Wyk, A., Van den Berg, J. & Van Hamburg, H. 2007. Selection of non-target Lepidoptera species for ecological risk assessment of Bt maize in South Africa. African Entomol. 15: 356 – 366. <http://www.bioone.org/doi/abs/10.4001/1021-3589-15.2.356>

Cuestiones Ambientales y Agronómicas de la Soja Genéticamente Modificada en Sudamérica

*Prof. Walter A. Pengue
Universidad General Sarmiento, Argentina*

De todas las actividades humanas, la agricultura presenta el conflicto más importante entre satisfacer nuestras necesidades básicas y mantener la sustentabilidad del medio ambiente natural. Ciertos tipos de agricultura afectan el ambiente más que otros. Por miles de años en Latinoamérica, sistemas agrícolas, altamente diversificados ecológicamente, evolucionaron y fomentaron el uso sustentable de los recursos. Diferentes grupos culturales desarrollaron varios métodos de cultivos complementarios: maíz, frijol y calabaza en América Central; tubérculos, raíces y maíz en los Andes; y camote y yuca en el Caribe. Estas prácticas han sido rápidamente socavadas por la influencia de la colonización, la modernización y la globalización, que las han remplazado por sistemas que impulsan los **procesos extractivos y la explotación de los recursos. Los recursos naturales y humanos de Latinoamérica podrían sostener su propio desarrollo a largo plazo.** Cerca del 23 por ciento de su superficie son áreas adecuadas para la agricultura y la ganadería y otro 23 por ciento es selva tropical (cerca de la mitad de la selva tropical mundial se encuentra en Latinoamérica). Un 13 por ciento de la superficie son pastizales y la re-

gión contiene 31 por ciento del agua dulce disponible del planeta. Además, es el hogar de importantes reservas de energía renovable y no renovable, y de la más rica biodiversidad del planeta. De los doce llamados países “megadiversos”, cinco se encuentran en América Central y del Sur: México, Colombia, Ecuador, Perú y Brasil.

Sin embargo, esta riqueza no ha creado de manera equivalente la calidad de vida y del medio ambiente que los pueblos latinoamericanos deberían tener. Esto se debe a que los gobiernos se han concentrado en un modelo de desarrollo defectuoso que ha excluido a la mayoría de la gente, especialmente en los últimos treinta años.

Durante este periodo, el sector agrícola, uno de los sectores productivos más prometedores de la región, cambió de manera dramática. La producción a gran escala, orientada a la exportación, y que requiere el uso intensivo de insumos químicos, empezó a dominar el panorama agrícola. **Este enfoque agrícola del mismo tipo de la Revolución Verde empezó a sofocar las prácticas agrícolas locales y de autosubsistencia de los pequeños y medianos agricultores. La cultura tradicional del campesino demostró un alto grado de sustentabilidad dentro de su propio contexto histórico y ecológico, y satisfizo las necesidades vitales de la población aun ante condiciones ambientales adversas.** Las prácticas agrícolas se fueron construyendo sobre sofisticados marcos sociales, geográficos y culturales, con tecnologías de procesamiento adecuadas, y con un conocimiento preciso de los recursos del consumo y de las costumbres laborales, todo ajustado a las condiciones locales. Estos sistemas agrícolas alimentaron a millones de americanos hace cinco siglos. Hoy día se encuentran relegados al 10 por ciento de las tierras más pobres, y aun así generan 40 por ciento de la producción agrícola y ganadera de la región. En América Central y del Sur, los campesinos alcanzan cerca del 80 por ciento de los productores rurales, y aportan 51 por ciento de la cosecha del grano más importante de la región: el maíz. En al menos siete países (Brasil, Chile, Colombia, El Salvador, Guatemala, México y Paraguay), los campesinos son

responsables principalmente de su propia seguridad alimentaria. Sin embargo, sus métodos de producción, que son tan exitosos desde el punto de vista social y ambiental, no han recibido el apoyo o el respaldo oficial por parte de los gobiernos.

Desde la mitad de los años noventa, Sudamérica, y Argentina principalmente, fueron confrontados a **una nueva tendencia del modelo de la Revolución Verde**, con la introducción de los cultivos genéticamente modificados (GM). La soja transgénica es el emblema principal de esta transformación. La Revolución GM extiende la lógica de la Revolución Verde desde controlar los insumos (semillas y químicos) hasta controlar toda la cadena de actividades agroindustriales esto quiere decir desde la semilla hasta el empaquetado en el supermercado. **Los puntos clave para introducir los productos GM en América del Sur fueron las nuevas tecnologías, las medidas regulatorias, las patentes, los acuerdos comerciales, las tierras y territorios a costos reducidos y una nueva demanda de alimentación animal y de biocombustibles.** Argentina ha permitido la introducción más extensa de los cultivos transgénicos y se apresuró a través de mecanismos de negligencia por parte de sus agencias gubernamentales y del sector privado hacia los organismos genéticamente modificados (OGM). Agencias similares han sido puestas en práctica en Brasil, Uruguay, Bolivia y Paraguay. La mayoría de las cuales se han involucrado en temas concernientes a la promoción de nuevas tecnologías en lugar de concentrarse en la regulación, así como ignorando estudios de impactos socio-ecológicos. No ha habido instancias de amplia participación pública, ni tampoco las decisiones de las agencias están sujetas a revisión por parte de investigadores independientes. Argentina fue el líder de esta transformación agrícola, con la liberación de la soja transgénica resistente a glifosato (Roundup) en 1996. **Para los agricultores, la soya Roundup Ready (RR) era una solución para uno de los grandes problemas del manejo del campo, el llamado control de malezas.** Con tan sólo “un herbicida”, los agricultores eran capaces de controlar a bajo costo una amplia gama de malezas (incluyendo los problemas más no-

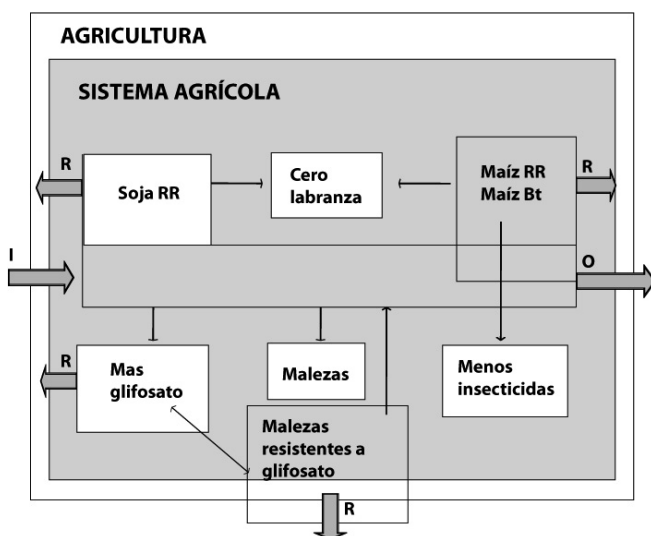
tables de malezas: *Sorghum halepense*, *Cynodon dactylon*, *Cyperus rotundus* o *Chenopodium album*). Una reducción en el precio del herbicida, junto con una disminución del consumo de energía fósil y la simplificada aplicación hicieron que la oferta del paquete tecnológico fuera muy atractiva. El otro aspecto de este modelo fue que presentaba la siembra directa como única alternativa para evitar el arado de los suelos, de tal forma a dar un mayor tiempo para la aceleración de las alternativas agrícolas, ofreciendo a los agricultores tres cosechas (soja RR/trigo/soja RR), por cada dos años. El medio ambiente, rural y natural, se encuentra bajo este proceso y una porción importante del país está siendo transformada en un enclave de producción de mercancías, especialmente pasta, aceites y granos de soya. El cambio en los sistemas productivos ha tenido como resultado un **fenómeno de agriculturización**. Esto es, el desplazamiento de la producción de ganado a las áreas marginales y la concentración del uso de tierra para la producción agrícola, con un cultivo principal en el centro del modelo, la soja transgénica. Este fenómeno está asociado con la implementación del manejo agrícola de los "paquetes tecnológicos" y de concentración de tierras en las regiones pampeanas y extra-pampeanas. Esto ha significado cambios significativos en las estructuras y tecnologías agrarias en los últimos 15 años y ha tenido como resultado la expansión del sistema de monocultivo que sustituyó a los sistemas de rotación de cultivo y a las tierras de pastoreo (una histórica manera de producción agrícola de rotación entre la producción de soja y ganado, que permitió una "agricultura sustentable" durante un periodo corto en la historia de Sudamérica). Este modelo se extendió no solo a las pampas (55'000.000 hectáreas de los suelos más ricos del mundo), sino también a otras áreas importantes por su alta diversidad, abriendo una nueva barrera agrícola en importantes ecoregiones como las Yungas, el Gran Chaco y la Foresta Mesopotámica.

La tecnología dominante es el monocultivo de soja resistente a glifosato asociado con las prácticas de siembra directa y el uso de glifosato (ver Figura 1). El 99 por ciento de la producción total de soja es soja genéticamente modificada para re-

sistir glifosato. La simplicidad del manejo de maleza bajo el esquema del glifosato permite a los agricultores manejar más hectáreas y aumentar de manera global la productividad y rentabilidad basadas en un modelo de integración vertical. En las áreas, extra-pampeanas, con medio ambientes más complejos, el sistema también implica una aplicación creciente de insumos externos relacionados al control de malezas y de plagas. La demanda de nuevas tierras en estas áreas implica una completa deforestación. Argentina es líder de las tasas de deforestación con 0.85 por ciento, una tasa mayor a las de África (0.78 por ciento) o al promedio de Sudamérica (0.5 por ciento). Este proceso, llamado "pampeanización", implica la importación del modelo tecnológico, financiero y agrónomo de las pampas a otras ecoregiones con diferentes tipos de suelos, de biodiversidad y de climas, como el Gran Chaco (Paraguay, Bolivia y Argentina), las yungas (Bolivia y Argentina), el pantanal (Brasil), y las savanas o pampas (Uruguay).

En la mayoría de los países, la investigación agrícola formal ha estado históricamente ligada al proceso de modernización tecnológica y de transformación agronómica que solamente beneficia a los grandes productores. El programa de investigación de los institutos de investigación agrícola nacionales, muchos de los cuales son privados, se focalizan en los cultivos extensivos para los mercados de exportación. En los noventas, muchos de estos institutos recibieron el beneficio directo de un pequeño porcentaje de las ventas de exportación, lo que continuó su enfoque en cuanto a las prioridades de la investigación. En estas agencias, así como en las universidades y empresas colectivas, entre públicas y privadas, la investigación fue realizada "a pedido", lo que es un territorio peligroso para determinar la investigación y las políticas de desarrollo. Muy poca investigación independiente ha sido desarrollada en donde su enfoque sea las temáticas ambientales, sociales y de salud relacionadas con las liberaciones de transgénicos. Mientras que Argentina, Brasil, Bolivia, Uruguay y Paraguay siguen avanzando, permitiendo la liberación de soja transgénica en sus territorios, los impactos ambientales y los conflictos

sociales han empezado a surgir y no pueden ser escondidos. En la parte centro-sur de Sudamérica, los impactos ambientales han provocado algunas de las siguientes consecuencias: la deforestación de áreas de alta diversidad, la aparición de malezas tolerantes a herbicidas (*Parietaria debilis*, *Petunia axillaris*, *Verbena litoralis*, *Verbena bonariensis*, *Hybanthus parviflorus*, *Iresine diffusa*, *Commelina erecta* y *Ipomoea* sp) (Pengue 2004), la aparición de malezas resistentes a herbicidas (como con el caso del *Sorghum halepense*) (Binimelis et al. 2009), la depleción del suelo y la exportación virtual del suelo (Pengue 2010), la contaminación agroquímica, la degradación de la estructura del suelo potencialmente con procesos de desertificación, y la pérdida de la diversidad de alimentos y de soberanía alimentaria.



La soja transgénica no es una demanda de los pequeños agricultores. Las demandas más importantes de estos millones de pequeños productores, responsables de la mayor parte de la producción agrícola en Sudamérica, favorecen la implementación de políticas agrícolas que sean consistentes y adecuadas con sus necesidades. Su mensaje es simple: la soja GM desarrollada hasta ahora no provee soluciones para las unidades familiares rurales. La evaluación de una nueva tecno-

logía y sus riesgos debe involucrar el suministro de información completa sobre todas las distintas posibles alternativas, así como un análisis comparativo de los beneficios, los riesgos, los medios de distribución y de la variedad de alternativas. La evaluación debe involucrar un criterio amplio, complejo y holístico que nuestras autoridades y científicos en Sudamérica deben tomar en cuenta e implementar para cambiar los efectos ambientales y en la salud del lado oscuro de esta historia de la agricultura.

Referencias

- Binimelis, R., Pengue, W.A. & Monterroso, I. 2009. "Transgenic treadmill": Responses to the emergence and spread of glyphosate-resistant johnsongrass in Argentina. *Geoforum* 40: 623-633. http://icta.uab.es/99_recursos/1241769532578.pdf
- Pengue, W.A. 2004. A short history of farming in Latin America. *Seedling*, April 2004. GRAIN, Barcelona. <http://www.grain.org /seedling/?id=281>
- Pengue, W.A. 2010. Suelo Virtual y Comercio Internacional (Virtual Soils and International Trade). *Realidad Económica* N° 250. Buenos Aires. <http://www.iade.org.ar/modules/RealidadEconomica /index.php?categoria=5202>

Esperanza, no barullo: El futuro de la agricultura

*Prof. Jack A. Heinemann
Universidad de Canterbury, Nueva Zelanda*

Una síntesis de la mejor ciencia aplicada a la agricultura fue el ambicioso objetivo de un proyecto iniciado en 2003 titulado Evaluación Internacional del Papel del Conocimiento, la Ciencia y la Tecnología en el Desarrollo Agrícola, abreviado como IAASTD. Este proyecto es el resultado conjunto de las más importantes instituciones en agricultura y desarrollo iniciado por el Banco Mundial y conducido en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF) (IAASTD, 2008).

La Evaluación completa está compuesta por un reporte global multi-capitulado y cinco reportes sub-globales multi-capitulados con dos documentos generales, el Resumen de la evaluación mundial preparado para los responsables de la toma de decisiones y el Informe de Síntesis. El proyecto completo fue supervisado por una oficina gobernada por las diferentes partes involucradas compuesta por representantes de gobiernos, agencias financiadoras, el sector privado y las organizaciones no gubernamentales (ONG). Esta es la evalua-

ción global más importante y más diversa de la agricultura que jamás se haya hecho (Rivera-Ferre, 2008); con la esperanza, de que no haya sido completada demasiado tarde. Ahora más que nunca la agricultura se encuentra bajo una importante revisión, dado que es cada vez más evidente que los beneficios e impactos de ella no son compartidos equitativamente entre los ricos y los pobres. La Evaluación se propuso la ambiciosa tarea de responder a la pregunta central de cómo la agricultura, en el 2050, podría contribuir a una humanidad sana y bien alimentada a pesar de los desafíos de extensa degradación ambiental, de crecimiento de la población y del cambio climático, y hacerlo de tal manera que el potencial de producir alimentos no se pierda por la forma en la que hacemos agricultura. Una de las respuestas fue simple. Ese objetivo fracasará debido a la manera en la que hacemos agricultura actualmente. El cómo deberíamos hacer agricultura no fue una pregunta simple por responder.

Nadie puede saber de manera segura si habrá una tecnología capaz de alimentar por siempre al mundo. Al menos por el momento, debemos estar tan atentos a limitar nuestros apetitos como lo somos con nuestra capacidad de producir más alimentos, combustibles y materiales. La Evaluación tuvo palabras duras para las sociedades que han consumido de manera desproporcionada. Y palabras todavía más fuertes por sus intentos de mantener su consumo usando subsidios y mecanismos comerciales de distorsión de mercados y marcos asimétricos de DPI. Lo que está claro es que la biotecnología moderna – al menos en la forma en la que la hemos desarrollado e implementado- no puede alimentar al mundo.

Lo que la Evaluación encontró con respecto a los OGM fue que:

1. No existe evidencia de un aumento general, sostenido o fiable, del rendimiento de los cultivos GM en los 12 años desde que fueron liberados comercialmente por primera vez.
2. No existe evidencia de una reducción sostenida de los gastos por parte de los agricultores que adoptan los cultivos GM,

ni tampoco un aumento sostenido y fiable de las ganancias.

3. No existe evidencia de una reducción sostenible en la utilización de plaguicidas. En realidad, existe un aumento drástico en el uso de algunos herbicidas, y la manera particular en la que son usados en los cultivos GM está subestimando las opciones de control de malezas de los agricultores convencionales.

4. La gran mayoría de los cultivos GM no fueron diseñados para aumentar los rendimientos, sino que fueron diseñados para vender agroquímicos particulares o pesticidas biológicos.

5. No existe evidencia de que la ingeniería genética ha sido efectiva en producir los cultivos y los animales necesitados por la mayoría de los granjeros del mundo, o a precios que puedan pagar.

6. La apropiación a gran escala del germoplasma vegetal como propiedad intelectual de algunas mega-corporaciones está consolidando la industria semillera, así como amenaza la agrobiodiversidad y la diversidad vegetales. Existen todas las razones para esperar la misma contradicción con el germoplasma animal si los animales GM algún día se convierten en productos comerciales viables.

7. Los nuevos OGM deben ser objeto de evaluaciones uniformes de seguridad y de impactos ecológicos que sean de la mejor calidad posible, asimismo como de mayor transparencia e independencia con respecto a lo que ha sido realizado con los OGM existentes.

La adopción de los cultivos GM es consistente con un número de "excesivas simplificaciones", o de mono-culturización, tendencias propias de la agricultura en las últimas décadas. La más evidente ha sido los grandes monocultivos que caracterizan los sistemas de cultivo en países como los Estados Unidos, Canadá y Argentina, los que también disponen de algunas de las áreas más grandes dedicadas a la producción de cultivos GM. Los monocultivos requieren grandes cantidades de insumos externos para intentar restaurar los suelos, y grandes cantidades de pesticidas debido a las poblaciones importantes de plagas específicas que las invaden. La simplificación excesiva del paisaje agrícola debido a los monocultivos de

plantas y animales subestima la resiliencia del agroecosistema y, de esa manera, la sostenibilidad. La comercialización de los OGM no muestra signos de salirse del modelo de monocultivo. El intento de simplificación del manejo de plagas con la ingeniería genética ha provocado un aumento en las aplicaciones de un pequeño número de agroquímicos. Esta práctica aumenta la frecuencia de la resistencia de estos químicos y reduce la diversidad de los productos alternativos, consecuentemente, amenaza la sostenibilidad de los rendimientos tanto en los agroecosistemas con OGM, o sin ellos. Finalmente, el modelo industrial agrícola está correlacionado con la simplificación excesiva de las dietas (Chávez y Muñoz, 2002; Hawkes, 2006; Scialabba, 2007; Tee, 2002). En muchos países, la malnutrición está marcada por un gran número de personas por debajo de un peso normal, o bien, con sobrepeso, muchas veces dentro de los mismos hogares. Las fuentes de grasas, proteínas y carbohidratos provienen de un número reducido de tipos de plantas y animales, dejando a las personas vulnerables a las enfermedades debido a una malnutrición de micronutrientes.

Lo que la Evaluación encontró con respecto a otras soluciones fue que:

1. Existe evidencia sustancial de que la inversión en métodos agroecológicos puede contribuir a alimentar al mundo de una forma sostenible.
2. Debemos volver a invertir cuánto antes en tecnologías que ya hayan sido probadas, como lo son el mejoramiento convencional y la selección asistida por marcadores moleculares.
3. Los marcos de DPI deben ser revisados urgentemente. Si el material biológico continúa siendo protegido por patentes y similares instrumentos, entonces deberán de cambiar tanto la manera en la que la propiedad intelectual es descrita, así como los incentivos en las instituciones públicas para desarrollar propiedad intelectual.
4. La vasta agricultura de los países exportadores deben adoptar inmediatamente políticas de comercio y de ayuda que promuevan la seguridad y soberanía alimentaria fuera de sus

propias fronteras.

Lo que caracteriza el presente es que al mundo le falta voluntad y no medios para alimentar a todos; lo que caracteriza el futuro es que tal vez también nos falten los medios por lo tanto debemos prepararnos ahora para ese día.

El propósito de esta presentación no es enfrentar la biotecnología moderna a otras biotecnologías, sino trazar la ruta del desarrollo de una biotecnología correcta para poder lograr los objetivos mutuos de tener alimentos abundantemente nutricionales y sabrosos, adecuados y apreciados localmente, y conseguirlo sin perder la capacidad de continuar alimentando a las futuras generaciones. Es también esencial que el camino hacia este futuro de la alimentación refuerce también a las comunidades locales y construya además economías locales. La Evaluación confía que el camino para alimentar al mundo de una forma sostenible, no sólo logrará una agricultura más resiliente sino que en el proceso, restaurará nuestro ecosistema global y detendrá la pérdida de nuestras diversas agriculturas humanas.

115

Es bien recibido el hecho de que la biotecnología moderna, incluyendo a los transgénicos, puede contribuir y ser compatible con las grandes soluciones sociales y ecológicas. Pero llegó el momento de que los OGM hagan un aporte real o bien se silencien.

Alimentar al mundo y al mismo tiempo construir agroecosistemas y sociedades sostenibles necesitará más que del conocimiento agroecológico actual (Tilman et al., 2002). Los gobiernos, los filántropos y la industria deben invertir en investigación y en instituciones que construyan conocimiento y mejoren metodologías, así como ayudar a adecuar implementaciones. Este conocimiento debe ser realizado en colaboración con los agricultores y distribuido a través de los servicios de extensión, de las organizaciones no gubernamentales y del sector privado.

¿Puede el mundo seguir una agricultura agroecológica que además sea beneficiosa? La probabilidad es alta pero no existe duda alguna de que habrá que contar con nuevos modelos económicos, ya que para lograr los objetivos discutidos anteriormente se necesita más que pequeños ajustes tecnológicos y de tarifas. Necesitamos ser capaces de dar cuentas de los verdaderos costos del uso de recursos no renovables, como en el caso de los combustibles fósiles, asimismo, el valor de los "suelos marginales" y agua como servicios de los ecosistemas debe ser identificado.

La contribución de los conservacionistas in situ, especialmente agricultores, debe ser reconocida. Finalmente, debemos cambiar la pregunta de "¿Cuánto se puede obtener a partir de los cultivos en estas tierras, o de los animales pastando en este prado? a ¿Cuánto costará no tener esta tierra, estos cultivos, estos animales o estos agricultores?".

Las biotecnologías adecuadas son sofisticadas y efectivas en lo que hacen. "Una idea errónea muy frecuente es que la agricultura orgánica significa un retroceso hacia un modo primitivo de hacer agricultura. Si bien es cierto que la agricultura orgánica se construye a partir del conocimiento y de las prácticas tradicionales, lo que ofrece es un sistema agrícola moderno y ecológicamente intensivo que puede desempeñarse con éxito sin la necesidad de ningún fertilizante o plaguicida sintético" (Scialabba, 2007, p. 217).

Un regreso hacia los sistemas de bajo rendimiento y pocos insumos que caracterizan la mayoría de África no es la solución, pero las estrategias modernas agroecológicas no son de bajo rendimiento, sin embargo, requieren de pocos insumos. La reducción de insumos en la mayoría de los agroecosistemas proveerá de la flexibilidad necesaria para aplicar los insumos externos en otros agroecosistemas, sin perder la sostenibilidad global. La correcta biotecnología está disponible y puede ser implementada ahora mismo, con la condición de que los agricultores pobres y de subsistencia reciban acceso a instituciones que construyen el conocimiento local y esparcen la

innovación, y no se les impida desarrollar sus propios mercados. La receta para el éxito se encuentra en la Evaluación.

Referencias

- Chávez, A. and Muñoz, M. 2002. Food security in Latin America. Food Nutr. Bull. 23, 349-350.
- Hawkes, C. 2006. Uneven dietary development: linking the policies and processes of globalization with the nutrition transition, obesity and diet-related chronic diseases. Global. Health 2:4, p.18. <http://www.globalizationandhealth.com/content/2/1/4>
- Heinemann, J. A. 2009. Hope not Hype. The future of agriculture guided by the International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development (Penang, Third World Network). <http://www.twinside.org.sg/title2 /books/Hope.not.Hype .htm> IAASTD. History of the IAASTD. http://www.agassessment.org/index.cfm?Page=IAASTD_History&ItemID=159
- Rivera-Ferre, M. G. 2008. The future of agriculture. EMBO Rep. 9, 1061-1066. <http://www.nature.com/embor/journal/v9 /n11/full/embor2008196.html>
- Scialabba, N. E.-H. 2007. Organic agriculture and food security in Africa. In Africa Can Feed Itself, A. Nærstad (ed.) (Oslo, AIT AS e-dit), pp. 214-228. http://www.agropub.no/asset/2636/1/2636_1.pdf
- Tee, E.-S. 2002. Priority nutritional concerns in Asia. Food Nutr. Bul. 23, 345-348. <http://www.nutriscene.org.my /journals/Tee 2002 - Nutrition concerns in Asia.pdf>
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R. and Polasky, S. 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. Nature 418, 671-677. <http://www.nature.com/nature /journal/v418/n6898/full/nature01014.html>



TWN
Third World Network

★ ★
**European
Network of
Scientists**
★ ★ ★ ★
for Social and
Environmental
Responsibility

WISSENSCHAFT IN DER VERANTWORTUNG
WISSENSCHAFT IN DER VERANTWORTUNG
WISSENSCHAFT IN DER VERANTWORTUNG
VDW VEREINIGUNG DEUTSCHER
WISSENSCHAFTLER E.V.
VERANTWORTUNG IN DER WISSENSCHAFT
VERANTWORTUNG IN DER WISSENSCHAFT
VERANTWORTUNG IN DER WISSENSCHAFT

Relt