



## **Una perspectiva multidisciplinaria respecto a la liberación de maíz transgénico resistente a lepidópteros o tolerante a los herbicidas glifosato y glufosinato de amonio**

Opiniones recabadas en el marco de la  
Consulta pública de solicitudes de Permisos de Liberación de OGM  
(Solicitudes: 010-029 2013, y 32,33 2013)

**Instituto de Ecología  
Universidad Nacional Autónoma de México**

Coordinadores:  
Mariana Benítez Keinrad  
Karina Boege Paré  
César Domínguez Perez Tejada

México D.F. a 1 de agosto del 2013

# Índice

Resumen.....	3
Maíz GM en México: un camino irreversible en detrimento de la agrobiodiversidad, la subsistencia campesina y el derecho a la alimentación en el centro de origen del maíz. <i>Elena R. Álvarez-Buylla, David Quist, Alma Piñeyro Nelson, Emiliano Rodríguez, Antonio Serratos, Alejandro Espinosa.....</i>	4
Riesgos ecotoxicológicos y a la salud por exposición a Glifosato (CAS: 1071-83-6) y Glufosinato de amonio (CAS: 7718-28-22): revisión actualizada. <i>Rodolfo Omar Arellano Aguilar .....</i>	13
Falta de transparencia en los datos experimentales en aspectos de comportamiento y rendimiento del maíz transgénico y el análisis costo-beneficio. <i>Hugo Perales.....</i>	17
Sobre flujo génico y efectos en variedades nativas de maíz. <i>Ana E. Escalante.....</i>	20
Efectos adversos potenciales del Gen Viral VI, limitaciones de la noción de equivalencia sustancial y del plan de monitoreo asociado a las solicitudes. <i>David Quist.....</i>	22
Consideraciones bioéticas. <i>León Olivé.....</i>	25
Alternativas agroecológicas. <i>Mariana Benítez.....</i>	27
Datos de los autores.....	28

## Resumen

Las opiniones y reflexiones que integran este documento fueron recabadas por iniciativa del Instituto de Ecología de la UNAM en el marco de la Consulta pública de solicitudes de Permisos de Liberación de OGM (Solicitudes: 010-029 2013, y 32,33 2013), abierta por Senasica en el año 2013. El documento reúne la opinión de investigadores de distintas instituciones que actualmente trabajan en las áreas de genética de poblaciones, agroecología, sistemas complejos, ecotoxicología, genética molecular, bioética y bioseguridad. Este esfuerzo nos pareció pertinente y crucial dado que México es centro de origen y diversidad de maíz. Albergar esta diversidad supone recursos invaluable para enfrentar las necesidades alimentarias del país, así como posibles plagas, enfermedades y efectos del cambio climático, pero conlleva la responsabilidad de garantizar las condiciones para que esta diversidad se mantenga en el futuro y pueda ser usada para beneficio de todos los mexicanos. Las opiniones aquí vertidas evidencian que en algunos casos la información que sería necesaria para evaluar inequívocamente los costos y beneficios que representaría para México la liberación de maíz GM no está disponible de forma pública y transparente. Sin embargo, en áreas como la genética poblacional y molecular y la ecotoxicología, se presentan datos y evidencia científica que deja claro que nuestro país enfrentaría fuertes riegos y daños en caso de que se aprobara la siembra a campo abierto de maíz transgénico. De manera resumida:

- Los datos disponibles para el flujo génico en poblaciones de maíz y otras plantas GM, aunados al reporte de la Conabio que indica que todo México debe considerarse centro de origen y diversidad del maíz, muestran que el maíz GM y los maíces nativos y sus parientes silvestres no pueden coexistir sin que haya **contaminación**.
- La presencia a gran escala de cultivos genéticamente modificados y sus productos derivados conduce al desarrollo de **resistencia en plagas y malezas**, que a su vez llevan a incrementar el uso de agroquímicos.
- Las pruebas de ecotoxicidad y genotoxicidad aplicadas al glifosato y glufosinato de amonio, asociados a las respectivas líneas de maíz resistente, muestran que ambas sustancias pueden generar **daños graves en los seres humanos y otros animales**, además de que existen datos epidemiológicos que indican que la exposición ocupacional a estos agroquímicos conlleva daños a la salud humana.
- Existen potenciales efectos adversos asociados a la estructura molecular de las construcciones transgénicas, por ejemplo a la presencia de la secuencia conocida como Gen Viral VI, además de que las solicitudes de siembra que se evalúan actualmente no incluyen un plan integral de **monitoreo y bioseguridad**.
- El hecho de que las semillas de maíz GM estén bajo propiedad intelectual, restringe severamente las prácticas tradicionales de intercambio de semillas, **afectando así a la diversidad agrícola y biocultural**.
- El que las líneas de maíz GM sean desarrolladas y comercializadas por compañías que sólo buscan maximizar sus ganancias, genera dependencia tecnológica y económica, **pone en riesgo el derecho a los alimentos** en la escala nacional y pone en riesgo prácticas de producción agrícola sustentables.

En las opiniones aquí presentadas se discuten también alternativas al uso de maíz GM en México, tales como las planteadas desde la agroecología. Éstas constituyen alternativas productivas y sustentables que se nutren de la agrobiodiversidad que caracteriza a México y que al mismo tiempo favorecen su mantenimiento. Tomadas en conjunto, las opiniones incluidas en este documento indican que no existe evidencia suficiente para respaldar los posibles beneficios de la liberación de maíz GM, mientras que sí la hay respecto a algunos de los riesgos asociados, por lo que se recomienda no aprobar la siembra de maíz GM en México.

## **Maíz GM en México: un camino irreversible en detrimento de la agrobiodiversidad, la subsistencia campesina y el derecho a la alimentación en el centro de origen del maíz.**

**Elena R. Álvarez-Buylla, David Quist, Alma Piñeyro Nelson, Emiliano Rodríguez, Antonio Serratos, Alejandro Espinosa.**

En esta opinión hacemos una síntesis de los argumentos científico-técnicos que han discutido miles de científicos de México y del mundo en torno a los riesgos, incertidumbres e insuficiencias tecnológicas de los cultivos transgénicos. En particular, analizamos el caso del maíz transgénico en su centro de origen, que es México.

Estos argumentos responden a la demanda del gobierno mexicano para que los expertos emitan su opinión en torno a los permisos para la liberación comercial de maíz transgénico en México. En este documento se sintetizan y enlistan los argumentos más claros y consensuados. El detalle técnico de los mismos se encuentra en las fuentes o referencias citadas al final del documento.

Los argumentos que presentamos se han nutrido de discusiones y aportaciones de miembros de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS), de otras agrupaciones científicas del mundo, así como de numerosos especialistas quienes, a título individual, han contribuido a integrarlos. A las preocupaciones legítimas que derivan de preguntas científicas se suman otras legales, sociales y económicas sobre las implicaciones para la seguridad alimentaria y el derecho a los alimentos de usar cultivos genéticamente modificados en sus centros de origen y diversidad. Esta opinión es de carácter interdisciplinario y también integra argumentos en estos ámbitos. Pero una discusión mucho más a fondo se puede encontrar en el expediente sobre el tema que está en prensa editado por la UNAM y la UCCS.

Una de las conclusiones más importantes de nuestros análisis científicos sobre las consecuencias no deseadas de la liberación de maíz transgénico en México es que éstas son potencialmente irreversibles. Con esto quedaría debilitado el cultivo milenario del maíz mexicano, ubicado en el corazón de la cultura mesoamericana y que es también el alimento básico de los mexicanos y millones de personas más. Las consecuencias de este tipo de prácticas ponen en riesgo nuestra comida y nuestra salud, así como la indispensable manera comunal de crear y mantener la diversidad genética del maíz, proceso dinámico que no puede preservarse o congelarse en un banco de germoplasma: son justamente las prácticas tradicionales las que han dado lugar y seguirán generando la diversidad genética en el maíz mexicano. Si se generaliza el cultivo de maíz transgénico, los productores campesinos mexicanos dependerían de las corporaciones dueñas de las patentes de los maíces transgénicos, amenazando el derecho a guardar semillas, disminuyendo la biodiversidad agrícola y destruyendo una cultura milenaria asociada al maíz. Todo esto afectaría de manera negativa a los consumidores de maíz de todo el mundo y a la seguridad alimentaria global, entorpeciendo la posibilidad de enfrentar los retos impuestos por un clima cada vez más cambiante e impredecible.

### **Introducción y Antecedentes**

En 1999, después de una experiencia de 11 años en bioseguridad, el gobierno mexicano, siguiendo el consejo científico de un panel de expertos, sacó una moratoria *de facto* sobre el cultivo de maíz genéticamente modificado con el fin de salvaguardar el patrimonio cultural y natural de México (Serratos-Hernández 2009). Nuestro país, como el principal guardián de este cultivo esencial, tiene la responsabilidad única e importante de preservar la diversidad genética del maíz no sólo para poder responder a los retos de la seguridad alimentaria, incluyendo aquellos impuestos por el cambio climático, o para garantizar una oferta diversa y saludable de productos derivados de esta planta, sino también para garantizar la soberanía alimentaria de México al ser el maíz el alimento básico de sus habitantes.

En 2005, se publicó un decreto que eliminaba la moratoria *de facto* a la siembra de maíz transgénico—a pesar de que la situación que la motivó en primer lugar no había cambiado—, lo cual,

junto con lo establecido en la LBOGM, abrió el camino para la aprobación de plantaciones comerciales a gran escala de cultivos genéticamente modificados. Así, desde 2009, la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) ha dado el visto bueno a 177 ensayos de sembradíos de maíz transgénico. Los beneficiarios de estas aprobaciones son, principalmente, cuatro compañías transnacionales: Dow AgroSciences, DuPont, Monsanto y Syngenta. Estas plantaciones de prueba no son más que reiteraciones de los ensayos evaluados previamente que dieron lugar a la moratoria de 1999. Por lo tanto, los resultados de estas pruebas deberían de haber confirmado, en todo caso, las razones para mantener dicha moratoria.

Por el contrario, y sin haber hecho una presentación formal y pública de los resultados de los ensayos de sembradíos que hicieron, como lo demanda la LBOGM y su reglamento, tres empresas multinacionales se encuentran ahora en las etapas finales de aprobación para liberar variedades de maíz transgénicas a gran escala. Estas variedades se encuentran protegidas por patentes en México. Ésta es una decisión con implicaciones potencialmente irreversibles para la biodiversidad agrícola, la subsistencia de los campesinos y el derecho a los alimentos.

Durante la historia de este proceso, científicos, ONGs y el público en general han denunciado estos asuntos en distintos foros<sup>1</sup> por más de 15 años. Por su parte, las respuestas del gobierno mexicano han variado, pero la tendencia ha sido abrirle la puerta a la posibilidad legal de liberar maíz transgénico en el campo mexicano (Peralta y Marielle 2010).

Lo claro es que una decisión de esta magnitud debe ser cuidadosamente considerada. Esto requiere de una evaluación de riesgos deliberativa, incluyente y transparente que involucre a un amplio grupo de actores. Desafortunadamente, hasta la fecha, el proceso de “consulta pública”<sup>2</sup> (comisionado por la Ley de Bioseguridad antes mencionada), que fue presentado por el gobierno mexicano, ha tratado de todo menos de estos procedimientos. No sólo la duración de la consulta pública es demasiado corta (20 días una vez que se ha hecho el anuncio) sino que la falta de transparencia en el proceso –dado que los resultados detallados de las liberaciones “piloto” y “experimentales” de maíz genéticamente modificado aún no se han hecho públicos, y mucho menos se han puesto a consideración de científicos independientes y expertos en las áreas involucradas– se ha adelantado a cualquier escrutinio científico.

Esto no sólo socava los principios de crítica y verificación independiente que se encuentran en el núcleo de la práctica científica sólida: también representa perder la oportunidad de abordar cuestiones de bioseguridad que garanticen la protección del medio ambiente en los centros de origen y diversidad genética ante cualquier liberación aprobada de algún organismo genéticamente modificado. Además, el gobierno mexicano se ha decidido por un proceso de consulta pública que limita las críticas a sólo aquellas que puedan ser “científica y técnicamente justificadas”<sup>3</sup>, restringiendo así muchas que podrían retroalimentar y enmarcar legítimamente el tema de la aprobación o no aprobación de este tipo de cultivos. Esto asume que sólo existen problemas científicos y técnicos, e ignora por completo las consideraciones igualmente válidas y razonables de los impactos sociales, económicos, legales y éticos.

Aquí analizamos los principales problemas ambientales, de salud, legales, socioeconómicos y de seguridad alimentaria que conlleva la liberación a gran escala de maíz transgénico en México. Todo ello, sobre bases técnicas y científicas sólidas respaldadas por referencias arbitradas, publicadas y validadas internacionalmente. Encontramos que la justificación científica y la evidencia de utilidad social, ambiental o agrícola han brillado por su ausencia después de más de 16 años de plantar cultivos genéticamente modificados en los Estados Unidos y en algunos otros países (Gurian-Sherman 2009, 2012; Gurian-Sherman y Gurwick 2009; Benbrook 2012). Además, también existen razones irrefutables –de índole científico, social, ambiental y cultural– para detener la liberación de cultivos genéticamente modificados en sus centros de origen y diversidad (ver también Commission for Environmental Cooperation 2004).

---

1\* Ver <http://www.unionccs.net>

2 Ver el Formato de Consulta Pública, consultado el 20 de Noviembre de 2012: <http://www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=14667&IdUrl=20755>

3 Ibid. “Dicha opinión deberá estar sustentada **TÉCNICA Y CIENTÍFICAMENTE**” (énfasis del documento original)

Podemos concluir que las acciones más prudentes implican medidas preventivas. Éstas se pueden lograr si se implementa una política precautoria que asegure la conservación y el uso sustentable de la biodiversidad agrícola del maíz en México. Para eso se requiere establecer una moratoria efectiva y oficial sobre el cultivo de variedades de maíz genéticamente modificadas, y comenzar una investigación a largo plazo que evalúe los beneficios, riesgos y oportunidades que ofrece el amplio abanico de prácticas agronómicas para potenciar la agricultura mexicana y mejorar el modo de vida de las comunidades rurales de nuestro país. Esto último debería ser evaluado en términos de su efectividad para alcanzar una producción suficiente y sustentable del maíz.

Este tipo de acciones precautorias han sido tomadas recientemente por otros países que también poseen una biodiversidad agrícola importante, específicamente India, en torno al caso de la posible introducción de berenjena Bt, Perú, respecto al cultivo de plantas genéticamente modificadas de diversos cultivos, incluida la papa y el maíz mismo, y Bolivia, por la disseminación de semillas transgénicas de diversos cultivos.

El reto principal para el derecho a los alimentos y la seguridad alimentaria es tomar decisiones el día de hoy que preserven estos mismos derechos para generaciones futuras. Esto significa que las políticas del campo deben instruir a nuestros agricultores para que provean, a su vez, una diversidad de opciones agrícolas a los campesinos del mañana (Álvarez-Buylla *et al.*, 2011). Para lograr este objetivo, un asunto central que debe tratarse es la responsabilidad de México por salvaguardar la agrobiodiversidad del maíz. Por eso, analizamos las consecuencias potenciales de la introducción de maíz genéticamente modificado en nuestro país desde cinco perspectivas distintas: conservación ambiental y biodiversidad, salud humana y animal, leyes, economía y sociedad, y seguridad alimentaria. Muchos de estos campos comparten preocupaciones comunes, y datos sustentados en estudios científicos sólidos, particularmente la hibridación de variedades de maíz genéticamente modificado con variedades de maíz silvestres, realidad biológica que ya ha sido documentada en México y observada desde el periodo en que la moratoria estaba vigente hasta hoy en día (ver referencias abajo).

Enseguida discutimos varias incertidumbres que ameritan más investigación y claridad con respecto a la liberación de maíz transgénico en México, pero tenemos ya suficientes datos y evidencia a la mano para justificar acciones precautorias.

## **IMPLICACIONES PARA EL AMBIENTE Y LA BIODIVERSIDAD**

### **(i) La liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado en México puede tener efectos adversos en la conservación de la biodiversidad agrícola de este cultivo**

México, reconocido como el centro de origen y diversidad del maíz (Kato *et al.* 2009), mantiene su biodiversidad agrícola a través del intercambio de semillas entre campesinos y su posterior selección. Esta práctica es una actividad vital que genera y mantiene el germoplasma para aquellas personas que cultivan el maíz alrededor del mundo, logrando así un equilibrio entre varias fuerzas evolutivas (ver la opinión de Ana Escalante en este compendio): la deriva génica, la selección natural y el flujo génico. La variación genética que resulta de este tipo de tradiciones es necesaria para que el maíz pueda responder efectivamente contra nuevas plagas o a preferencias de los consumidores (Álvarez-Buylla *et al.* 2011; Ureta *et al.* 2011). Además, la evidencia acumulada sugiere que las comunidades que mantienen altos niveles de biodiversidad agrícola del maíz están mejor posicionadas para resistir cambios climáticos (Bellon *et al.* 2011). La comercialización de maíz genéticamente modificado en México amenaza con interrumpir este proceso que subyace la diversificación de su germoplasma, además de desafiar el modo de vida de los campesinos que producen más del 70% del maíz usado para consumo humano en México.

La Ley Mexicana de Bioseguridad contiene un Régimen de Protección Especial que se creó con el fin de salvaguardar la diversidad genética de las variedades locales, cultivadas o silvestres, de plantas cultivadas cuyo centro de origen y/o diversidad es México (LBOGM 2005). Sin embargo, varias modificaciones posteriores a las regulaciones de bioseguridad de esta misma ley la contradijeron (LBOGM-Reglamento 2009) y eliminaron esta disposición con la suposición de que hay áreas en México que no requieren del régimen de protección especial.

Más aún, para proveer de un marco aparentemente legal que permita la liberación de variedades de maíz genéticamente modificadas, el gobierno mexicano ha publicado, según el mandato de la LBOGM, un acuerdo que ubica al centro de origen y diversidad del maíz fuera de las áreas en donde las plantas transgénicas serían cultivadas. Sin embargo, análisis científicos llevados a cabo por la agencia líder de biodiversidad en México, la CONABIO, encontraron diversidad nativa del maíz a lo largo y ancho de todo el territorio mexicano (Acevedo *et al.* 2011; Reporte Oficial de CONABIO en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>) lo cual, junto con los datos que evidencian el flujo de transgenes (Piñeyro-Nelson *et al.* 2008), conduce a la conclusión irrefutable de que todo México debería de ser considerado como el centro del origen del maíz y de su diversidad (Kato *et al.* 2009).

(ii) **Los estudios de flujo de genes confirman la inverosimilitud biológica y política de la coexistencia sin contaminación entre maíz genéticamente modificado y maíz silvestre**

Las agencias que monitorean la implementación de la LBOGM afirman que las áreas de producción de maíz genéticamente modificado (principalmente en el norte de México) pueden ser segregadas de otras áreas abiertas de cultivo de variedades nativas (o “criollas”) de maíz. Sin embargo, la abundante evidencia científica que documenta el flujo de genes en maíz (Quist y Chapela 2001; Serratos *et al.* 2004; Serratos *et al.* 2007; Piñeyro-Nelson *et al.* 2009a, b; Dyer *et al.* 2008, 2009; van Heerwaarden *et al.* 2012) y algodón (Wegier *et al.* 2011) en México demuestra, por el contrario, que esta coexistencia no es posible. Por poner un ejemplo, la incidencia de “contaminación” del suministro de maíz en los Estados Unidos con una variedad de maíz genéticamente modificado no aprobado para el consumo humano (conocido como “Starlink”) condujo a la pérdida de millones de dólares para los productores. Aún después de años de monitoreo y análisis, el suministro alimenticio de maíz todavía presentaba un nivel bajo de transgenes (Marvier y Van Acker 2005).

Como la producción y el consumo de maíz son mucho más extensos en México que en Estados Unidos de Norteamérica, dicho flujo génico será mucho más abundante, y por tanto, más difícil o incluso imposible de controlar y revertir. Dada la persistencia e incertidumbres del impacto que puede causar el flujo de transgenes y su acumulación en los genomas de los maíces nativos, este asunto tiene relevancia innegable con posibles implicaciones biológicas, en la agrobiodiversidad, socioeconómicas, legales y de conservación.

(iii) **La presencia a gran escala y uso de características de cultivos genéticamente modificados y sus productos derivados conduce al desarrollo de resistencia en plagas y malezas**

La experiencia global con las dos características predominantes de los cultivos genéticamente modificados, una que confiere resistencia a plagas específicas de insectos y la otra que provee tolerancia a la aplicación de herbicidas, están provocando la generación de plagas y malezas resistentes. Esto tiene un efecto secundario sobre el ambiente, ya que se necesita aplicar otro tipo de pesticidas y herbicidas para enfrentar el problema. Así, estamos repitiendo el mismo ciclo de resistencia ya observado con los antibióticos en el área médica (Benbrook 2012). Sobre este asunto se están acumulando cada vez más ejemplos en todos los países en donde se siembran cultivos transgénicos.

(iv) **La presencia a gran escala de cultivos transgénicos y el uso de genes de resistencia en los cultivos genéticamente modificados pueden ocasionar impactos no deseados en organismos que no son objeto de la biotecnología**

Varios estudios han documentado efectos negativos inesperados en organismos que no son el objetivo de los organismos genéticamente modificados en cuestión (ver revisión en: Álvarez-Buylla 2004). Dichos efectos son propensos a multiplicarse en regiones megadiversas como México.

## **IMPLICACIONES PARA LA SALUD HUMANA Y ANIMAL**

En contraste con muchos países industrializados en donde el maíz es usado principalmente como alimento para ganado y para procesos industriales, en México, el maíz es consumido en grandes cantidades (de 240-300 g diarios) y sin ser procesado demasiado, siendo así uno de los alimentos básicos del mexicano (Ackerman *et al.* 2003). Aún existen grandes interrogantes con respecto a los posibles efectos a largo plazo en la salud humana y animal que podrían surgir como consecuencia del consumo prolongado de cultivos genéticamente modificados y de sus agroquímicos asociados. Este tipo de preocupaciones son relevantes (Domingo 2007), especialmente porque un creciente número de estudios científicos sugieren daños a la salud en pruebas con animales (Mathews *et al.* 2005; López *et al.* 2012; Malatesta *et al.* 2002a, b, 2003; Seralini *et al.* 2012). Dichos descubrimientos han iniciado un debate global sobre la necesidad de estudios estandarizados y de largo plazo para comprobar la veracidad de sus resultados.

Adicionalmente, muchas investigaciones (Classen *et al.* 1990; Arnason *et al.* 1994; Serratos *et al.* 1993; Vázquez-Carrillo *et al.* 2011) muestran que el valor nutricional y los productos del metabolismo secundario (*i.e.* proteínas, azúcares libres, aceites y contenido fenólico) de un germoplasma genéticamente más diverso como el de las variedades nativas del maíz es mucho mayor y con impactos en salud mucho mejores, en comparación con los pedigrees idénticos de los híbridos transgénicos. Por tanto, es obvio que las variedades silvestres, como fuentes de productos de defensa naturales, proveerían de una dieta más sana a la población mexicana.

### **(v) Riesgo de contaminación de la cadena alimenticia del maíz con biocombustibles y otras líneas de maíz transgénico que producen productos farmacéuticos o industriales (líneas biorreactoras)**

Existen varias líneas de maíz transgénico biorreactor que están siendo producidas y probadas: desde aquéllas destinadas a biocombustibles, que tienen índices glucémicos extremadamente altos, a las que se usan para producir fármacos o sustancias químicas experimentales (Ellstrand 2003). Una plantación comercial a gran escala de maíz genéticamente modificado aumenta las probabilidades de que dichas semillas biorreactoras escapen a las regiones mexicanas productoras de maíz y afecten las cadenas alimenticias que sostienen estos cultivos. Esto amenazaría de manera profunda la seguridad alimentaria en México y en otros lugares.

## **IMPLICACIONES LEGALES, SOCIOECONÓMICAS Y CULTURALES**

Los problemas socioeconómicos, legales y culturales se interrelacionan con el asunto de los derechos de propiedad intelectual (DPIs) vía patentes de los transgenes y la protección de las variedades vegetales (PVV) de las variedades híbridas.

### **(vi) Los DPIs restringirán severamente las prácticas tradicionales de intercambio de semillas, afectando así a la agrobiodiversidad y el derecho a los alimentos**

Los DPIs de las variedades de maíz genéticamente modificadas podrían afectar el manejo comunal de almacenamiento de semillas, amenazando la reproducción de sistemas abiertos de semillas indispensables para la supervivencia a largo plazo de la diversidad genética local (Álvarez-Buylla *et al.* 2011). Aún no hemos examinado las implicaciones de las patentes mexicanas y las leyes de protección de variedades vegetales, pero *sin duda esta es un área que requiere de más investigación.*

### **(vii) Los DPIs imponen un régimen de propiedad, amenazando a la soberanía alimentaria**

A través del registro de variedades vegetales del gobierno de México<sup>4</sup>, tratamos de rastrear familias pedigrees de las variedades usadas por los solicitantes y adaptadas para el ambiente mexicano. Encontramos que la información no está disponible para el público a través de fuentes

<sup>4</sup> <http://snics.sagarpa.gob.mx/dov/Paginas/default.aspx>



*online*. Desde nuestro punto de vista, todavía se mantiene abierta la pregunta de si estas variedades de maíz genéticamente modificadas, para las cuales las compañías privadas están buscando patentes y PVVs, utilizan germoplasma de maíz mexicano que habría sido desarrollado por campesinos mexicanos o por instituciones de investigación nacionales. Las implicaciones de la privatización para la seguridad alimentaria deben analizarse más a fondo.

**(viii) Los DPIs contribuyen a consolidar el mercado de semillas y a afectar el precio de las mismas**

Mientras México parece estar replicando las mismas políticas y estrategias de mercado que otros países, como los Estados Unidos, aplican para los cultivos genéticamente modificados, la experiencia de ésta y otras naciones que adoptan prácticas de biotecnología agrícola puede ser valiosa para poder predecir resultados similares.

La experiencia global con los DPIs sobre germoplasmas ha facilitado la concentración de suministros de semillas y de las mejores tierras en un pequeño número de corporaciones multinacionales (Adi 2006; Sagar 2000; Howard 2009). Esto ha dado como resultado una disminución en la competencia de mercado (Pinstrup-Andersen 1999) y aumentos notables en el precio de las semillas (Shi *et al.* 2009).

El sector semillero de México ya está dominado por algunas de estas compañías que buscan introducir maíz protegidos por DPIs (Luna *et al.* 2012) porque, una vez que las semillas modificadas se empiecen a comercializar, el poder de mercado se intensificará. Si esto llega a ocurrir, podemos esperar que la competencia en el mercado de semillas de maíz se reduzca, particularmente si se llevan a cabo modificaciones a las regulaciones existentes de los DPIs.

**(ix) Impactos al modo de vida sustentable de los pequeños productores**

La subsistencia de los campesinos mexicanos, así como las alternativas agroecológica y localmente adaptadas para la producción sustentable de maíz en México se verían profundamente amenazadas por una liberación comercial masiva de maíz genéticamente modificado (Nadal 2003; Álvarez-Buylla *et al.* 2011). Más aún, las variedades transgénicas no son tan resistentes como las variedades nativas que ya se cultivan en el norte de México, región donde se quiere liberar variedades de maíz genéticamente modificado. Por ello, el déficit en la producción de maíz no podría ser resuelto por las compañías transnacionales; en realidad, una buena solución sería el uso de tecnología que no involucrara organismos genéticamente modificados (Turrent *et al.* 2012).

**Conclusiones**

Basados en nuestros análisis, en conjunto con las evidencias y argumentaciones científicas resumidas en las otras contribuciones de este volumen, podemos concluir que la liberación a gran escala de maíz genéticamente modificado en tierras mexicanas y su aprobación comercial amenazarán profundamente el núcleo de la cultura mesoamericana, la soberanía de la comida mexicana, el bienestar social y la seguridad alimentaria a nivel mundial. Este tipo de prácticas biotecnológicas no harán más que exacerbar desigualdades ya existentes, externalizar riesgos y efectos adversos, y poner en peligro el tradicional intercambio de semillas que mantiene y aumenta la agrobiodiversidad, desde hace milenios. Tampoco hay que olvidar el peligro potencial que enfrenta la diversidad genética del maíz por acumulación de transgenes en variedades que son mantenidas por campesinos a lo largo y ancho del país.

La única decisión prudente ahora es restablecer la moratoria de 1999 para evitar la liberación de variedades de maíz genéticamente modificado en México. Además, se deben tomar medidas, como las propuestas por la Comisión para la Cooperación Ambiental (2004), para evitar la entrada de semillas viables de maíz genéticamente modificado a México.

## Recomendaciones:

En México, un periodo de consulta pública sobre peticiones para la plantación a escala comercial de maíz genéticamente modificado está por concluir. Éste era el último obstáculo de procedimiento para evitar la aprobación de ese tipo de prácticas. Sabemos que estas siembras vienen acompañadas de impactos potenciales que amenazan el derecho de consumir maíz como un alimento esencial. Por ello, y dada la irreversibilidad biológica innegable, insistimos y urgimos fuertemente a las autoridades mexicanas que implementen las actividades especificadas aquí propuestas, con el fin de crear un diálogo más amplio y necesario, y una reconsideración colectiva sobre la liberación a gran escala de maíz genéticamente modificado en el epicentro de la biodiversidad agrícola de esta planta. Instamos a las autoridades mexicanas a:

- Considerar el trabajo de 235 expertos pertenecientes a 70 instituciones coordinadas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), que designa a México como el centro de la diversidad biológica del maíz puesto que en él se encuentran sus centros de origen y domesticación (<http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>; Kato-Yamakake *et al.*, 2009).
- Cambiar las regulaciones de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) para que el Régimen de Protección Especial al Maíz (RPEM) se cumpla.
- Detener el procesamiento de cualquier solicitud de liberación a campo abierto de maíz genéticamente modificado en México a cualquier escala.
- Rechazar los permisos para la plantación comercial de maíz transgénico y cancelar todos los permisos existentes para liberaciones a “escala piloto” y a “escala experimental” de maíz genéticamente modificado en el ambiente. Esto, con base en la evidencia científica que documenta el alcance del flujo de transgenes y que ubica a todo el territorio mexicano como centro de origen y diversidad del maíz.
- Empezar de manera inmediata una revisión externa por especialistas que sea transparente y que discuta los aspectos ambientales y sociales del cultivo de maíz genéticamente modificado en México. Dicho proceso debe estar basado en criterios científicos y en la participación pública; los estándares usados deben ser científica, social y ambientalmente aceptables. Además, exigimos que la revisión considere opciones alternativas para solucionar los problemas de producción de alimentos en México e incluya a representantes campesinos y de comunidades indígenas productoras de maíz, cuya subsistencia puede verse afectada por la introducción de maíz genéticamente modificado en territorio mexicano.
- Conducir una revisión meticulosa y transparente, así como una consulta pública, de la aceptación de las políticas existentes sobre el cultivo de maíz genéticamente modificado en México.

## Bibliografía

- Acevedo F., Huerta E., Burgeff C., Koleff P. y Sarukhán J. (2011) Is transgenic maize what Mexico really needs? *Nature Biotechnology* **29**: 23-4.
- Ackerman F., Wise T., Gallagher K., Ney L. y Flores R. (2003) Free trade, corn, and the environment: Environmental impacts of US-Mexico corn trade under NAFTA. Global Development & Environment Institute, Working Paper 03-06. Medford, Massachusetts: Tufts University.
- Adi B. (2006) Intellectual property rights in biotechnology and the fate of poor farmer's agriculture. *The Journal of World*

*Intellectual Property* **9**(1): 91-112.

- Álvarez-Buylla E.R. (2004) Ecological and Biological Aspects of the Impacts of Transgenic Maize, including Agro-Biodiversity. En: Commission for Environmental Cooperation Secretariat Report on Maize and Biodiversity. The Effects of Transgenic Maize in Mexico: Key Findings and Recommendations. Report of the North America Agreement on Environmental Cooperation (NAAEC). Communications Department of the CEC Secretariat. National Library of Canada, Quebec, Canada.
- Álvarez-Buylla E.R., Carreón García A., San Vicente Tello A. (2011) Haciendo Milpa. La Protección de las Semillas y la Agricultura Campesina. UNAM & Semillas de Vida. México, D.F. 104 pp.
- Arnason J.T., Baum B., Gale J., Lambert J.H.D., Serratos A., Bergvinson D., Philogène B.J.R., Mihm J.A. y Jewell D. (1994) Variation in resistance of Mexican land races of maize to maize weevil *Sitophilus zeamais*, in relation to taxonomic and biochemical parameters. *Euphytica*, vol. 74. Wageningen. Springer Netherlands, pp. 227-236.
- Bellon M.R., Hodson D. y Hellin J. (2011) Assessing the vulnerability of traditional maize seed systems in Mexico to climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* **108**(33): 13432-7.
- Benbrook C. (2012) Impact of genetically engineered crops on pesticide use in the US – the first sixteen years. *Environmental Sciences Europe* **24**: 24. doi: 10.1186/2190-4715-24-24.
- Classen D., Arnason J.T., Serratos-Hernández J.A., Lambert J.D.H., Nozzolillo C, Philogène B.J.R. (1990) Correlation of phenolic acid content of maize resistance to *Sitophilus zeamais*, the maize weevil in CIMMYT's collections, en *Journal of Chemical Ecology*, vol. 16, núm. 2. Netherlands. Springer Netherlands, pp. 301-15.
- Commission for Environmental Cooperation (2004) Secretariat Report on Maize and Biodiversity. The Effects of Transgenic Maize in Mexico: Key Findings and Recommendations. North America Agreement on Environmental Cooperation (NAAEC). Communications Department of the CEC Secretariat. National Library of Canada, Quebec, Canada.
- Domingo J.L. (2007) Toxicity studies of genetically modified plants: a review of the published literature. *Critical Reviews in Foods Science and Nutrition* **47**: 721-33.
- Dyer G.A. y Taylor J.E. (2008) A crop population perspective on maize seed systems in Mexico. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **105**(2): 470-5.
- Dyer G.A., Serratos-Hernández J.A., Perales H.R., Gepts P., Piñeyro-Nelson A., Chávez A., Salinas-Arreortua N., Yúnez-Naude A., Taylor J.E. y Álvarez-Buylla E.R. (2009) Dispersal of transgenes through maize seed systems in Mexico. *PLOS ONE* **4**(5): e5734.
- Ellstrand N.C. (2003) Going to "Great-Lenghts" to prevent the escape of genes that produce specialty chemicals. *Plant Physiology* **132**: 1770-74.
- Gurian-Sherman D. (2009) Failure to Yield. Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops. Union of Concerned Scientists Report. UCS Publications, Cambridge, MA, USA.
- Gurian-Sherman D. (2012) High and dry: Why genetic engineering is not solving agriculture drought's problems in a thirsty world? Union of Concerned Scientists Report. UCS Publications, Cambridge, MA, USA.
- Gurian-Sherman D. y Gurwick N. (2009) No Sure Fix. Prospects for Reducing Nitrogen Fertilizer Pollution Through Genetic Engineering. Union of Concerned Scientists Report. UCS Publications, Cambridge, MA, USA.
- Howard P.H. (2009) Visualizing consolidation in the global seed industry: 1996-2008. *Sustainability* **1**: 1266-87.
- Hubbard K. (2009) Out of hand: Farmers Face the Consequences of a Consolidated Seed Industry. Farmer to Farmer Campaign on Genetic Engineering. Washington, D.C., National Family Farm Coalition.
- Kato-Yamakake T.A., Mapes-Sánchez C., Mera-Ovando L.M., Serratos-Hernández J.A. y Bye-Boettler R.A. (2009) Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica. Universidad Nacional Autónoma de México y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F., México. 115 pp.
- LBOGM (2005) Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Marzo, 2005. Cámara de Diputados del H Congreso de la Unión. Nueva Ley DOF 18-03-2005.
- LBOGM-Reglamento (2009) Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados. Reglamento. Marzo, 2009. Cámara de Diputados del H Congreso de la Unión. Última Reforma DOF 06-03-2009.
- López S.L., Aiassa D., Benítez-Leite S., Lajmanovich R., Mañas F., Poletta G., Sánchez N., Simoniello M.F. y Carrasco A.E. (2012) Pesticides use in South American GMO-based agricultura: a review of their effects on human and animal model. En: J.C. Fishbein y J.M. Heilman (eds) *Advances in Molecular Toxicology*, vol. 6, Amsterdam, Netherlands, p. 41-75.
- Luna M.B.M., Hinojosa R.M.A., Ayala G.O.A., Castillo G.F. y Mejía C.A. (2012) Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Revista Fitotecnia Mexicana* **35**(1): 1-7.
- Malatesta M., Caporaloni C., Gavaudan S., Rocchi M.B., Serafini S., Tiberi C. y Gazzanelli G. (2002a) Ultrastructural morphometrical and immunocytochemical analyses of hepatocyte nuclei from mice fed on genetically modified soybean. *Cell Structure and Function* **27**(4): 173-80.
- Malatesta M., Caporaloni C., Rossi L., Battistelli S., Rocchi M.B.L., Tonucci F. y Gazzanelli G. (2002b) Ultrastructural analysis of pancreatic acinar cells from mice fed on genetically modified soybean. *Journal of Anatomy* **201**(5): 409-15.
- Malatesta M., Biggiogera M., Manuali E., Rocchi M.B.L., Baldelli B. y Gazzanelli G. (2003) Fine structural analyses of pancreatic acinar cell nuclei from mice fed on GM soybean. *European Journal of Histochemistry* **47**: 385-8.
- Marvier M. y Van Acker R. (2005) Can crop transgenes be kept on a leash? *Frontiers in Ecology and the Environment* **3**(2): 99-106.
- Matthews D., Jones H., Gans P., Coates S. y Smith L.M. (2005) Toxic secondary metabolite production in genetically modified potatoes in response to stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* **53**(20): 7766-76.
- Nadal A. (2003) The Environmental & Social Impacts of Economic Liberalization on Corn Production in Mexico. WWF and

OXFAM.

- Peralta L. y Mairielle C. (2011) La Participación Política en una Lucha de Interés Colectivo: la defensa del maíz. Experiencias y aprendizajes del Programa Sistemas Alimentarios Sustentables del GEA AC. Grupo de Estudios Ambientales A.C. México, D.F. 141 pp.
- Piñeyro-Nelson A., van Heerwaarden J., Perales H.R., Serratos-Hernández J.A., Rangel A., Hufford M.B., Gepts P., Garay-Arroyo A., Rivera-Bustamante R. y Álvarez-Buylla E.R. (2009a) Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology* **18**(4): 750-61.
- Piñeyro-Nelson A., van Heerwaarden J., Perales H.R., Serratos-Hernández J.A., Rangel A., Hufford M.B., Gepts P., Garay-Arroyo A., Rivera-Bustamante R. y Álvarez-Buylla E.R. (2009b) Resolution of the mexican transgene detection controversy: Error sources and scientific practice in comercial and ecological contexts. *Molecular Ecology* **18**: 4145-50.
- Pinstrup-Andersen P. y Cohen M.J. (1999) Modern Biotechnology for Food and Agriculture: Risks and Opportunities for the Poor. En: Persley G.J. y Lantin M.M. (eds) *Agricultural Biotechnology and the Poor*. Washington, D.C.: CGIAR, pp. 159-169.
- Quist D. y Chapela I. (2001) Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature* **414**(6863): 541-3.
- Sagar A., Daemrich A. y Ashiya M. (2000) The tragedy of the commoners: biotechnology and its publics. *Nature Biotechnology* **18**(1): 2-4.
- Seralini G.E., Clair E., Mesnage R., Gress S., Deafrge N., Malatesta M., Hennequin D. y Spiroux de Vendômois J. (2012) Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roudup-tolerant genetically modified maize. *Food and Chemical Toxicology* **50**(11): 4221-31.
- Serratos-Hernández J.A., Blanco-Labra A., Mihm J.A., Pietrzak L. y Arnason J.T. (1998) Generation means analysis of phenolic compounds in maize grain and susceptibility to maize weevil, *Sitophilus zeamais*, infestation. En: *Canadian Journal of Botany*, vol. 71. Ottawa, NRC Research Press, pp. 1176-81.
- Serratos-Hernández J.A., Gutiérrez F.I., Buendía Rodríguez E., Berthaud J. (2004) Gene flow scenarios with transgenic maize in Mexico. *Environmental Biosafety Research*, vol. 3, núm. 3. Les Ulis, ISBR EDP Sciences, pp. 149-57.
- Serratos-Hernández J.A., Gómez-Olivares J.L., Salinas Arreortua N., Buendía-Rodríguez E., Islas-Gutiérrez F., de-Ita A. (2007) Transgenic proteins in maize in the soil conservation area of Federal District, Mexico. *Frontiers in Ecology and the Environment*, vol. 5, núm. 5. Washington, D.C. Ecological Society of America, pp. 247-52.
- Serratos-Hernández J.A. (2009) Bioseguridad y dispersión del maíz transgénico en México. *Revista Ciencias* **92-93**: 130-41.
- Turrent A., Wie T. y Garvey E. (2012) Factibilidad de alcanzar el potencial productivo de maíz en México. Universidad de Tufts, Mexican Rural Development Research Reports. Reporte 24, pág. 36. <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf>
- Ureta C., Martínez-Meyer E., Perales H. y Álvarez-Buylla E.R. (2011) Projecting the effects of climate change on the distribution of maize races and their wild relatives in Mexico. *Global Change Biology* **18**(18): 1073-82.
- van Heerwaarden J., Ortega Del Vecchio D., Álvarez-Buylla E.R. y Bellon M.R. (2012) New Genes in Traditional Seed Systems: Diffusion, Detectability and Persistence of Transgenes in a Maize Metapopulation. *PLoS ONE* **7**(10): e46123. doi: 10.1371/journal.pone.0046123.
- Vázquez-Carrillo G., García-Lara S., Salinas-Moreno Y., Bergvinson D. y Palacios-Rojas N. (2011) Grain and tortilla quality in landraces and improved maize grown in the highlands of Mexico. *Plant Foods for Human Nutrition* **66**(2): 203-8.
- Wegier A., Piñeyro-Nelson A., Alarcón J. y Álvarez-Buylla E.R. (2011) Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin. *Molecular Ecology* **20**(19): 4182-94.

## Riesgos ecotoxicológicos y a la salud por exposición a Glifosato (CAS: 1071-83-6) y Glufosinato de amonio (CAS: 7718-28-22): revisión actualizada.

**Rodolfo Omar Arellano Aguilar**

### Antecedentes

Los herbicidas glifosato (nombre comercial Roundup®) y glufosinato de amonio se aplican en los cultivos de maíz, canola, algodón, soya y papa genéticamente modificados con el gen de *Bacillus thuringiensis* (Bt). En el caso del maíz GM, la tolerancia a estos herbicidas se encuentra en los eventos Bt11, TC1507 y GA21. El glifosato (GLY) es un herbicida sistémico que inhibe la enzima 5-enolpiruvilshikimato 3-fosfato sintasa (EPSPS por sus siglas en inglés) en la vía metabólica de shikimato. Esta vía sintetiza aminoácidos aromáticos como el triptófano, la fenilalanina y la tirosina. Cuando la planta está expuesta al glifosato, la producción de aminoácidos aromáticos es insuficiente para mantener la síntesis de proteínas por lo que es letal (Duke 1990; Duke & Powles 2008). En el caso del glufosinato de amonio (GLA), se trata de un herbicida de contacto que inhibe la actividad enzimática de la glutamina sintetasa; necesaria para producir glutamina y la desintoxicación de amonio. De acuerdo con las especificaciones, el GLY se aplica en concentraciones de 1 a 2 litros por hectárea y el GLA en dosis de 1 miligramos por kilogramo por día. Por sus propiedades fisicoquímicas tanto el GLY como el GLA son poco persistentes en el ambiente (coeficiente de partición octanol-agua de GLY, logKow= -3.40 y del GLA es logKow= -5.33; TOXNET, 2013). La última revisión de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA por sus siglas en inglés) muestra que ambos compuestos no presentan actividad carcinógena para los humanos (USEPA 2006). Por lo anterior y por los estudios realizados en la década de 1990, estas sustancias son consideradas de bajo riesgo para el ambiente y la salud humana (según Solicitud 021-2013; pag. 178). Sin embargo, en los últimos tres años diversos trabajos muestran todo lo contrario.

### Glifosato (GLY)

Aunque los estudios toxicológicos en especies clave del suelo como la lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) han reportado efectos subagudos poco letales (Zhou et al., 2013), otros trabajos muestran que la exposición a GLY en concentraciones de 14.4 microgramos por centímetro de sustrato causa efectos deletéreos en el ADN en *Eisenia andrei* (Piola et al., 2013). En vertebrados acuáticos, los últimos reportes muestran resultados similares, el GLY induce daño genotóxico. Por ejemplo, en *Cnesterodon decemmaculatus* (Poeciliidae) expuesto a concentraciones de dos marcas que contienen GLY (Panzer® y Credit®) se observó daño genotóxico en eritrocitos (Vera-Candioti et al., 2012). En *Anguilla anguilla*, la exposición a Roundup® causó estrés oxidante a través del aumento de las especies reactivas de oxígeno, causando también daño genético (Guilherme et al., 2012). En México, se ha observado en el pez endémico, *Goodea atripinis*, efectos similares en tejidos de hígado y branquias, alcanzando incluso una concentración letal 50 de 38.95 miligramos por litro (Ortiz-Ordoñez et al., 2011). En cuanto a las pruebas ecotoxicológicas, se ha observado que en distintas especies de anfibios, el GLY, en concentraciones ecológicamente relevantes, causa citotoxicidad, rompimientos de la cadena de ADN e incremento en la formación de micronúcleos (biomarcador de genotoxicidad), principalmente en las formas juveniles de las especies *Elutherodactylus johnstonei* (pob. expuestas 3.74 Kg/ha) y *Euflectis cyanophlyctis* (desde 1 a 8 mg e. a. /l; Meza-Joya et al., 2013; Yadav et al., 2013). Además, se ha observado un efecto sinérgico en presencia de otros factores de estrés como la infección al hongo *Batrachochytrium dendrobatidis* (Bd); agente etiológico asociado a la declinación de las poblaciones de anfibios a nivel mundial (Peatow et al., 2013). En reptiles, los efectos se han observado sobre el sistema inmune, la reducción en la concentración de proteína en plasma y en el crecimiento por la exposición crónica a 11 y 21 mg/l de Roundup® (Latorre et al., 2012). En mamíferos, las pruebas toxicológicas también han arrojado nuevos datos. En el ratón albino, la exposición a 50 y 500 miligramos por kilogramo la actividad de enzimas hepáticas ALT, AST y GST aumentó y provocó alteraciones hematológicas y peroxidación lipídica; indicador de estrés oxidante (Jasper et al., 2012). En pruebas *in vitro*, se ha reportado que la exposición a GLY genera un aumento

de caspasas y el potencial de la membrana mitocondrial se compromete, causando un aumento en la frecuencia de células apoptóticas y necrosis (Kim et al., 2013).

Los estudios epidemiológicos en población humana expuesta, ya sea ocupacionalmente o por envenenamiento, están aportando también nuevos datos. Henneberger et al. (2013) mostraron que el riesgo de cuadros asmáticos se incrementa en OR= 0.5 (0.3-0.8 I.C. 95%) en aplicadores de GLY con alergias recurrentes. Mientras que Zouaui et al. (2013) reportaron que en 13 casos por envenenamiento a GLY se observaron ulceraciones orofaríngeo, náuseas, vómito, arritmias cardíacas, así como niveles de GLY de hasta 61 mg/l (rango 0.6-150 mg/l) en sangre. En un estudio realizado con 57,311 aplicadores de GLY en Estados Unidos se encontró una asociación de la exposición laboral con una incidencia de casos de mieloides múltiples (De Roos et al., 2005). Además, en estudios *in vitro*, el GLY causa efecto citotóxico, mediante la inducción de apoptosis celular; siendo la alteración del potencial de membrana mitocondrial como un mecanismo de acción (Heu et al., 2012); lo que coincide con el trabajo de Kim et al. (2013). Finalmente, la revisión de Samsel y Seneff (2013) muestra que además, el GLY podría estar actuando sinérgicamente con otros factores, lo que aumentaría el riesgo de padecer diversas patologías como diabetes, arteroesclerosis, enfermedades neurodegenerativas como Parkinson y Alzheimer, infertilidad y un incremento en malformaciones durante el desarrollo embrionario. De acuerdo con Samsel y Seneff (2013) hay evidencias de que el GLY afecta la microbiota intestinal e inhibe enzimas esenciales en el metabolismo de fase I como la actividad enzimática de los citocromos P450, en consecuencia se compromete la transformación, absorción y asimilación de los nutrientes.

### **Glufosinato de amonio (GLA)**

El GLA inhibe irreversiblemente a la glutamina sintetasa, lo que provoca un daño neurotóxico por hiperamonemia y alteraciones estructurales de las células de la glia (Meme et al., 2009; Mao et al., 2011). Recientemente, se han reportado una serie de documentos en donde el envenenamiento por GLA no sólo causa un paro respiratorio y circulatorio, sino la cardiopatía Tako-Tsubo o disfunción ventricular transitoria cuyo síntoma en clínica es similar a un síndrome coronario agudo (Gozález et al., 2006; Tominaga et al., 2012). En el modelo de ratón, la exposición a GLA (en 5 y 10 miligramos por kilogramo), afecta la memoria y modifica la textura del hipocampo (Calas et al., 2008).

Desde 1998, se ha advertido que la exposición ocupacional a la GLA aumenta el riesgo de malformaciones congénitas en 2.45 (0.78-7.70 IC del 95%; Garcia et al., 1998). Un estudio reciente en Canadá mostró evidencias de la transferencia transplacentaria de GLA, GLY y su metabolito (ácido 3- metil fosfinico propionico) en mujeres embarazadas (Aris & Leblanc 2011). De acuerdo con Aris & Leblanc (2011), el GLA se ha encontrado en niveles desde 40 a 75 nanogramos por mililitro en suero de sangre periférica, mientras que el metabolito del glifosato se ha encontrado en concentraciones de 120 nanogramos por mililitro en mujeres embarazadas y 40 nanogramos por mililitro en el feto de éstas. Las pruebas en ratones hembra expuestas desde 3.75 a 10 microgramo por mililitro muestran efectos embriotóxicos como retraso en el crecimiento del embrión, malformaciones, hipoplasia y alteraciones en la diferenciación del cerebro (Watanabe & Iwase 2006). En cuanto a los riesgos de exposición en especies no-mamíferas, la base de datos de TOXNET (2013) muestra que las concentraciones letales 50 oscilan entre 710 y 5000 miligramos por kilogramo en al menos cinco especies de peces teleósteos.

### **Comentarios generales a las solicitudes de liberación experimental de maíz con la tecnología BT11 x MIR162 x MIR604 x TC1507 x 5307 x GA21 en distintas regiones agrícolas de México (Detalles en Apéndice 1).**

Las solicitudes de liberación experimental de maíz genéticamente modificado: 021-2013, 022-2013, 023-2013, 024-2013, 025-2013, 026-2013, 027-2013, 029-2013 (y de algodón 032-2013, 033-2013) prevén la aplicación de glifosato y glufosinato de amonio en las zonas de liberación de los OGM. Sin embargo, en la mayoría de los casos la información es limitada, no está actualizada o no la presentan respecto a los riesgos de exposición. Lo anterior genera que en las solicitudes no se hayan considerado los estudios de estimación de riesgos y daños a la salud tanto laboral como accidental.

No se presentan acciones de prevención y mitigación de los posibles daños al ambiente y organismos no-blanco. Tampoco información actualizada sobre los riesgos a la salud por los efectos de genotoxicidad, inducción de daño por estrés oxidante y efectos subletales, incluyendo las poblaciones silvestres. En conclusión, las solicitudes omiten de manera grave información toxicológica de los agroquímicos asociados a OGM (p. ej. Roundup y sus sinónimos).

## Referencias

- Aris A., Leblanc S. 2011. Maternal and fetal exposure to pesticide associated to genetically modified foods in Eastern Townships of Quebec, Canada. *Repro. Tox.* 31 (4): 528-533.
- Calas AG., Richard O., Meme S., et al. 2008. Chronic exposure to glufosinate-ammonium induces spatial memory impairments, hippocampal MRI modifications and glutamine synthetase activation in mice. *Neurotoxicology* 29(4): 740-747.
- De Roos JA., Blair A., Rusieck AJ., et al. 2005. Cancer incidence among Glyphosate-exposed pesticide applicators in the agricultural. *Environ. Health Persp.* 113(1): 49-54.
- Duke S. 1990 Overview of herbicide mechanisms of action. *Environ Health Perspect* 87: 263-271.
- Duke S., Powles S. 2008 Mini review Glyphosate: a once-in-a-century herbicide. *Pest Manag Sci* 64:319-325.
- García AM., Benavides FG., Fletcher T., et al. 2008. Paternal exposure to pesticide and congenital malformations. *Scand. J. Work Environ. Health.* Dec 24(6): 473-480.
- González RIC., Bermejo JFF., Vela RT., et al. 2006. Disfunción ventricular transitoria o síndrome de Tako-Tsubo. A propósito de un caso. *Emergencias* 18: 247-249.
- Guilherme S., Santos MA., Barroso C. 2012. Differential genotoxicity of Roundup® formulation and its constituents in blood cells of fish (*Anguilla Anguilla*): considerations on chemical interactions and DNA damaging mechanisms. *Ecotoxicology* 21(5): 1381-1390.
- Henneberger PK., Liang X., London SJ., et al. 2013. Exacerbation of symptoms in agricultural pesticide applicators with asthma. *Int. Arch. Occup. Health* 14: Epub ahead of print.
- Heu C., Elie-Caille C., Mougey V., et al. 2012. A step further toward glyphosate-induced epidermal cell death: involvement of mitochondrial and oxidative mechanisms. *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 34(2): 144-153.
- Jasper R., Locatelli GO., Pilati C., Locatelli C. 2012. Evaluation of biochemical, hematological and oxidative parameters in mice exposed to the herbicide glyphosate-Roundup®. *Interdiscip. Toxicol.* 5(3): 133-140.
- Kim YH., Hong JR., Gil HW., Song HY., et al. 2013. Mixture of glyphosate and surfactant TN20 accelerate cell death via mitochondrial damage induced apoptosis and necrosis. *Toxicol. In Vitro* 27(1): 191-197.
- Latorre MA., López-González EC., Larriera A. et al., 2012. Effects of in vivo exposure to Roundup® an immune system of *Caiman latirostris*. *J. immunotoxicol* 18: Epub ahead of print.
- Mao CY., Wang JD., Hung DZ., et al. 2011. Hyperammonemia following glufosinate- containing herbicide poisoning: a potential marker of severe neurotoxicity. *Clin. Toxicol. (Phila.)* 49 (1): 48-52.
- Meme S., Calas AG., Montécot C., et al. 2009. MRI characterization of structural mouse brain changes in response to chronic exposure to the glufosinate ammonium herbicide. *Toxicol. Sci.* 111(2): 321-330.
- Meza-Joya FL., Ramirez-Pinilla MP., Fuentes-Lorenzo FL. 2013. Toxic, citotoxic and genotoxic effects of a glyphosate formulation (roundup®SL-cosmoflux®4IIF) in the direct developing frog *eleutherodactylus johnstonei*. *Environ. Mol. Mutagen.* 26: doi 10.1002/em.21775.
- Ortiz-Ordóñez E., Ulía-Galicia E., Ruiz-Picos AR., Sánchez Durán A., et al., 2011. Effects of Yerbimat herbicide on lipid peroxidation, catalase activity and histological damage in gill and liver of freshwater fish *Goodea atripinis*. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 61: 443-452.
- Paetow LJ., McLaughlin JD., Pauli BD., et al. 2013. Mortality of American bullfrog tadpole *Lithobates catesbeianus* infected by *Gyrodactylus jennyae* and experimentally exposed to *Batrachochytrium dendrobatidis*. *J. aquat. Anim. Health* 21(1): 15-26.
- Piola L., Fuchs J., Oneto ML., et al. 2013. Comparative toxicity of two glyphosate-based formulation to *Eisenia andrei* under laboratory conditions. *Chemosphere* 91(4): 545-551.
- Samsel A., Seneff S. 2013. Glyphosate's suppression of cytochrome P450 enzymes and amino acid biosynthesis by the gut microbiome: pathways to modern diseases. *Entropy* 15: 1416-1463.
- Solicitud 021-2013. Solicitud de liberación experimental de maíz con la tecnología BT11 X MIR162 X TC1507 X GA21 (SYN-BTO11-1x x SYN-IR162-4 x DAS-01507-1 x MON-00021-9) en la Región Agrícola del Estado de Tamaulipas durante los ciclos OI 2014 y OI 2015. Syngenta Agro S.A. de C.V.
- Tominaga K., Suzukawa M., Shinjo T., et al. (2012) Takosubo cardiopathy as a delayed complication with a herbicide containing glufosinate ammonium in a suicide attempt: a case report. *Case Rep. Med.* 2012: ID 630468.
- TOXNET 2013. Toxicology data network, United State National Library of Medicine ([toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search](http://toxnet.nlm.nih.gov/cgi-bin/sis/search); consulta 8-jun-2013).
- USEPA Office of Pesticide Programs, Health Effects Division, Science Information Management Branch: "Chemicals Evaluated for Carcinogenic Potential" (April 2006)
- Vera-Candioti, Soloneski S., Larramendy ML. 2012. Evaluation of the genotoxic and citotoxic effects of glyphosate-based herbicides in the ten spotted live bearer fish *Cnesterodon decemmaculatus* (Jenyns, 1842). *Ecotoxicol. Environ. Saf.*

89: 166-173.

Watanabe T., Iwase T. 1996. *Terato. Carcinog. Mutage.* 16(6): 287-299.

Yadav SS., Giri S., Singha U. 2013. Toxic and genotoxic effects of Roundup on tadpoles of the Indian skittering frog (*Euflyctis cyanophyctis*) in the presence and absence of predator stress. *Aquat. Toxicol.* 15; 132-133.

Zhou et al. 2013. *Environ. Pollut.* 31: 71-77.

Zouaui K., Dulaurent S., Gaulier JM., et al. 2013. Determination of glyphosate and AMPA in blood and urine from humans: about 13 cases of acute intoxication. *Forensic Sci. Int.* 10(226): 1-3.



**La falta de transparencia en los datos experimentales en aspectos de comportamiento y rendimiento del maíz transgénico y el análisis costo-beneficio obstaculiza la evaluación objetiva, racional y científica de las solicitudes de permisos de liberación de OGM.**

**Hugo Perales Rivera**

### **Comentario general**

Existe una imposibilidad estructural para discutir y tomar una decisión informada con respecto a siembras piloto y comerciales debido a falta de transparencia de resultados experimentales previos. Las compañías de semillas consideran que los resultados experimentales previos son privados, y sus datos no están disponibles públicamente. Esto implica que se exija confiar en el diseño y calidad de los experimentos y la interpretación de quien es el interesado (y tiene conflicto de interés), o en el criterio de los funcionarios que tienen acceso a los resultados experimentales (éstos están en papel de funcionarios y no como técnicos o científicos). La confidencialidad de los datos experimentales en aspectos de comportamiento y rendimiento del maíz transgénico y el análisis costo-beneficio no está justificada bajo propiedad industrial o de derechos de autor, que es lo que aducen las compañías de semillas, e impide evaluaciones objetivas, racionales y científicas de las propuestas. El actual procedimiento de autorización de siembras experimentales, piloto o comerciales requiere consulta pública pero no transparencia en este aspecto del proceso. El maíz en México es un asunto de interés público y no sólo privado; la controversia y disputa por la siembra o no de maíz transgénico no se resolverá en el beneficio de México bajo un procedimiento con secrecía, esto fomentará la continuación de la disputa.

#### **1) Suposición de efectos nulos en la biodiversidad.**

Todas las solicitudes de permisos (experimental, piloto y comercial) presumen que los maíces transgénicos propuestos no tienen efectos adversos en el ambiente sin considerar los efectos en variedades de maíz nativo. No se ha experimentado sobre la transferencia de transgenes a variedades nativas de maíz mexicano y su posible acumulación en éstos; sólo se ha considerado si existen interacciones con organismos “no-blanco”, persistencia e invasividad, ventaja selectiva (o no), impacto en técnicas de manejo y cosecha y potencial de transferencia de genes. No se puede descartar a priori, sin experimentación específica con maíces nativos, que los transgenes no tendrán interacciones negativas en la expresión de otros genes si reciben introgresiones de transgénicos. La acumulación posible de múltiples copias de los transgenes (Bellon y Berthaud 2004, Kato 2004), el silenciamiento de genes y otros mecanismos pudiesen estar presentes (Bicar Fagard and Vaucheret 2000, Naudeu 2011). Existe evidencia de diferencias significativas en la amplificación de un gen para zeina entre líneas comerciales transgénicas y una variedad tradicional (Piñeyro et al. 2009), lo que puede implicar que el contexto genómico de los maíces tradicionales tiene el potencial de interactuar en formas inesperadas.

#### **2) Control del movimiento de semilla e introgresión de transgenes en variedades tradicionales.**

La transferencia de genes se considera desde el punto de vista de polen (distancias a poblaciones de variedades tradicionales) y no de la semilla. Sin embargo, el mecanismo de intercambio de semilla es seguramente más importante (van Heerwaarden et al. 2012). El mecanismo de movimiento de semilla entre agricultores por intercambio, donación o venta es prevalente entre agricultores mexicanos de maíz (Badstue et al. 2007, Brush y Perales 2007), a diferencia de otros países como Estados Unidos. Esto implica que las condiciones para el control de la semilla transgénica difícilmente conseguirán que no se mueva semilla para siembra como requiere el contrato bajo patente. Se han encontrado transgenes en variedades tradicionales aún bajo la moratoria a siembras experimentales (Piñeyro-Nelson et al. 2009), bajo siembras comerciales la introgresión de transgenes en variedades tradicionales seguramente será común y muy extendida. No hay previsiones en la peticiones de siembra comercial para enfrentar este problema. Un problema ligado es que las siembras comerciales solicitan permisos para un nivel de “ecorregión” (en el caso de las Solicitudes 016\_2013 y 017\_2013

casi 12 millones de hectáreas), difícilmente habrá capacidad de controlar que no se mueva semilla (además de que resulta una barbaridad solicitar permiso para 12 M ha cuando en 2011 la superficie de maíz bajo riego en los estados propuestos, Chihuahua, Coahuila y Durango, es de apenas 130,662 ha y la total bajo riego en esos estados es de 574,595 ha; fuente: SIAP [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_wrapper&view=wrapper&Itemid=350](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350)).

### **3) Legislación inadecuada para México.**

No existen consideraciones en la legislación mexicana para las consecuencias de introgresión de productos transgénicos en variedades tradicionales. Todas las variedades transgénicas son patentadas y sembrar semilla de segunda generación o tener genes introgresados en variedades no transgénicas, aun inadvertidamente, también se ha considerado ilegal (ver, por ejemplo, Wiber 2009, Seay 2005). ¿Qué responsabilidades y consecuencias tendrá en agricultores mexicanos que sus variedades tradicionales presenten introgresión inadvertida de transgenes? ¿Podrán las compañías de semillas solicitar la destrucción de semilla de variedades tradicionales contaminada por transgenes (además de la posibilidad de demandar por daños)? ¿Qué derechos tendrán los agricultores que tengan contaminación no deseada con transgenes? ¿Se tendrá que impedir y criminalizar el intercambio de semillas?

### **4) Beneficios privados indeterminados (pequeños) para pocos, externalidades pagadas socialmente, necesidad de análisis costo-beneficio nacional.**

Es conocido que los actuales cultivares transgénicos no tienen una ventaja en rendimiento frente a cultivares tradicionales manejados adecuadamente (control del insecto para el que se diseñó el transgénico, o control de las malezas adecuado por métodos convencionales), la excepción es bajo poblaciones grandes de la plaga objetivo (Franke et al. 2011). Los beneficios para los agricultores se dan como ahorro de costos y comúnmente son alrededor de 5% menores (Franke et al. 2011). No sabemos si éste será el caso para México dado que los resultados experimentales se mantienen en privado. Por otro lado, si consideramos que los transgénicos de maíz se quieren sembrar en el norte en tierras con irrigación, este grupo de agricultores representan menos del 3% del total de agricultores de maíz en México (específicamente 2.6%, cálculo personal hecho con base en padrón de Procampo 2009; los archivos están disponibles en <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Programas/procampo/Beneficiarios/Paginas/2009.aspx>). Por otro lado, los costos de monitoreo, contención y control del movimiento de transgénicos será social, cubierto por el Gobierno de México y no por los interesados en aplicar la tecnología. Se requiere un análisis a nivel nacional de los costos y beneficios para una decisión racional ya que actualmente los beneficios materiales posiblemente no justifiquen la siembra de maíz transgénico.

### **5) Aumento en uso de herbicidas, glifosato reportado como cancerígeno**

Se ha encontrado que los caracteres transgénicos en algodón, soya y maíz aumentaron el uso de herbicida en 239 millones de kg, mientras que el de insecticidas se redujo en 56 millones de kg (un aumento neto de 7%, Benbrook 2012). El herbicida glifosato ha sido reportado como teratogénico (Paganelli et al. 2010).

## **Referencias**

- Badstue, L.B., M.R. Bellon, J. Berthaud, A. Ramírez, D. Flores and X. Juárez. 2007. The dynamics of farmers' maize seed supply practices in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *World Development*. 35:1579-1593.
- Bellon, M.R. y J. Berthaud. 2004. Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico. The importance of farmers' behavior. *Plant Physiology*. 134:883-888.
- Benbrook, C.M. 2012. Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the US -the first sixteen years.
- Bicar, E.H. 2009. Characterizing transgene inheritance. In: M.P. Scott (ed.), *Methods in molecular biology: transgenic maize*. Vol 526. Humana Press (Springer). pp. 147-159. (ver página 157 punto 9 para silenciamiento de gen, pero puede ir en otras formas)
- Brush, S.B. and H.R. Perales. 2007. A maize landscape: ethnicity and agro-biodiversity in Chiapas, Mexico. *Agriculture*,

- Ecosystems and Environment. 121:211.221.
- Fagard M., and H. Vaucheret. 2000. (Trans) Gene silencing in plants: How many mechanisms? *Annu. Rev. Plant. Physiol. Plant. Mol. Biol.* 51: 167 – 194 .
- Franke, A.C., M.L.H. Breukers, W. Broer, F. et al. 2011. Sustainability of current GM crop cultivation. Report 386. Plant Research International, Wageningen, The Netherlands.
- Kato-Yamakake, T.A. 2004. Variedades transgénicas y el maíz nativo en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo.* 1:101-109.
- Nadeau, J.H. 2001. Modifier genes in mice and humans. *Nature Reviews.* 2:165-174.
- Paganelli, A., V. Gnazzo, H. Acosta, S.L. Lopez and A.E. Carrasco. 2010. Glyphosate-based herbicides produce teratogenic effects on vertebrates by impairing retinoic acid signaling. *Chemical Research in Toxicology.* 23:1586-1595.
- Piñeyro-Nelson, A., J. van Heerwaarden, H.R. Perales, A. Serratos-Hernández, A. Rangel, M.B. Hufford, P. Gepts, A. Garay-Arroyo, R. Rivera-Bustamante, and E.R. Alvarez-Buylla. 2009. Resolution of the Mexican transgene detection controversy: error sources and scientific practice in commercial and ecological contexts. *Molecular Ecology.* 18:4145-4150.
- Piñeyro-Nelson, A., J. van Heerwaarden, H.R. Perales, A. Serratos-Hernández, A. Rangel, M.B. Hufford, P. Gepts, A. Garay-Arroyo, R. Rivera-Bustamante, and E.R. Alvarez-Buylla. 2009. Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology.* 18:750-761.
- Seay, N.J. 2005. Patent infringement related to plants, In: J.M. Chen and D.L. Kershen, *Law, agriculture and biotechnology.* pp. 234-247.
- van Heerwaarden, J., S. Ortega del Vecchyo, E.R. Alvarez-Buylla and M.R. Bellon. 2012. New genes in traditional seed systems: diffusion, detectability and persistence of transgenes in a maize metapopulation. *PLoS ONE* 7(10) e46123.
- Wiber, M.G. 2009. "What innocent bystanders?": the impact of law and economics reasoning on rural property rights. *Anthropologica.* 51:29-38.

## Sobre flujo génico y efectos en variedades nativas de maíz

Ana Elena Escalante

### ¿Qué es el flujo génico y cómo influye en la diversidad genética de las plantas?

La mezcla de genomas de dos individuos se conoce genéricamente como hibridación. La hibridación resulta en flujo genético efectivo o transferencia de genes entre parientes que pueden o no encontrarse en la misma población. Los cientos de casos de estudio documentados de hibridación e introgresión (la incorporación de variedades genéticas o alelos de un taxón a otro) que involucran plantas silvestres y domesticadas sugieren que la mayoría de parientes cercanos de plantas se hibridarán naturalmente con sus parientes (Ellstrand *et al.*, 1999).

En caso de genes o transgenes en cultivares de granos, estas variantes genéticas, pueden moverse entre poblaciones por dos vías: por *intercambio de semillas y/o por polinización cruzada* entre campos de cultivo adyacentes (Mercer & Wainwright, 2008) y es probable que resulten en la incorporación por hibridación y eventual introgresión. **En términos ecológicos y biológicos, no existe razón para asumir que el aislamiento reproductivo sea absoluto** y es claro que la hibridación espontánea e introgresión de genes (o transgenes) desde plantas domesticadas a otros cultivares o parientes silvestres es un fenómeno común que ocurre (Ellstrand *et al.*, 1999) y seguirá ocurriendo.

**El flujo genético entre plantas domesticadas (transgénicas incluidas) y sus parientes silvestres, puede tener dos consecuencias potencialmente dañinas: la evolución de “super malezas” y la potencial extinción de las variedades silvestres.** En cuanto a la segunda, ésta puede suceder de dos maneras:

- (x) *Depresión por exogamia.* En este escenario los híbridos resultan con desempeños pobres, comparados con sus padres, lo cual se vuelve especialmente importante en casos en donde el flujo génico reduce el desempeño de especies o variedades localmente raras (menor número de individuos) cuando se hibridan con variedades localmente comunes (mayor número de individuos).
- (xi) *Empantanamiento genético (genetic swamping).* Este escenario se da cuando una especie localmente rara pierde su identidad genética y es “asimilada” en la especie localmente común, esto como resultado de rondas repetidas de hibridación y retrocruza (Ellstrand & Elam 1993). Se espera este escenario cuando el flujo genético es efectivamente neutro o benéfico (en términos adaptativos).

Ambos fenómenos son dependientes de la frecuencia y muestran retroalimentación positiva. En cada generación individuos genéticamente puros de poblaciones localmente raras se vuelven incrementalmente raros hasta la extinción. Ambos fenómenos pueden llevar a la extinción muy rápidamente, incluso en un par de generaciones (Ellstrand *et al.*, 1999). **El problema de extinción por hibridación no depende del valor adaptativo de los genes implicados, si no de los patrones de entrecruza. Específicamente, el riesgo disminuye cuando las tasas de entrecruza de alejan del azar (hay selección de “pareja”). La extinción por hibridación con variedades domesticadas ha sido implicada en dos casos de los 13 cultivares más importantes en el mundo (Small, 1984).**

### ¿Por qué México es un caso especial para la conservación de recursos genéticos de maíz?

México, es centro de origen del maíz y alberga cerca de 59 variedades de este cultivo (Wellhausen *et al.*, 1952; Sánchez *et al.*, 2000). Las variedades nativas de maíz ocupan cerca del 80% del territorio dedicado a cultivo de maíz en México, manejado principalmente por campesinos a pequeña escala (Aquino *et al.*, 2001; Mann, 2004). **Esto hace que las poblaciones de variedades nativas de maíz sean, en general, pequeñas o numéricamente raras, lo que las hace especialmente susceptibles al riesgo de extinción por hibridación.** Adicionalmente, el flujo genético en estas poblaciones está dictado no sólo por movimiento de polen de poblaciones adyacentes, sino que se puede ver fuertemente impactado por prácticas culturales de manejo de semillas (intercambio, mezcla

de las mismas, selección local (Bellon & Berthaud 2004). En conjunto, esta dinámica local tiene influencia directa en los procesos ecológicos y evolutivos que suceden en las poblaciones de maíz en México (Bellon & Berthaud, 2006).

### Conclusiones-Opinión

Si, efectivamente, se introducen transgenes en una población vía hibridización (polinización) o por flujo mediado por semillas (compra, intercambio), **la introgresión en las poblaciones nativas depende principalmente de dos fuerzas evolutivas: deriva génica y selección**. El proceso estocástico de deriva puede resultar en la pérdida o fijación de transgenes debido a efectos de muestreo, especialmente en poblaciones pequeñas (Ellstrand & Elam, 1993). En este caso es especialmente importante determinar el número de individuos transgénicos que pueden entrar en poblaciones nativas de maíz ya que, como se ha dicho anteriormente, si su número es grande en relación a las poblaciones nativas la probabilidad de extinción de la población nativa es muy elevada y puede darse rápidamente. Es importante, también, no perder de vista el flujo génico que puede darse vía semillas por medios de transporte a larga distancia, ya que se ha dado mucho énfasis en la migración por polen que puede ser despreciable si las poblaciones se encuentran más o menos alejadas. Por otro lado, el impacto de la selección en la introgresión dependerá de cómo el transgen y otros genes ligados (físicamente o pleiotrópicamente) influyan en el desempeño de los híbridos (Ellstrand *et al.*, 1999).

### Referencias

- Aquino P, Carrión F, Calvo R, Flores D. 2001. Selected maize statistics. En: Pingali P (ed), CIMMYT 1999-2000 World Maize Facts and Trends: Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector. CIMMYT, México DF. Pp. 45-57.
- Bellon M, Berthaud J. 2004. Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in Mexico: the importance of farmer's behavior. *Plant Physiology* 134: 883-888.
- Bellon M, Berthaud J. 2006. Traditional Mexican agricultural systems and the potential impacts of transgenic varieties on maize diversity. *Agric Hum Val* 23:3-14.
- Ellstrand NC, Elam DR. 1993. Population genetic consequences of small population size: implications for plant conservation. *Annual review of Ecology and Systematics*. 24: 217-242.
- Louette D, Charrier A, Berthaud J. 1997. In situ conservation of maize in Mexico: genetic diversity and maize seed management in a traditional community. *Economical Botany* 51: 56-66.
- Mann C. 2004. Diversity on the Farm: How Traditional Crops Around the World Help to Feed Us All, and Why We Should Reward People Who Grow Them. University of Massachusetts, Amherst, MA  
<http://www.peri.umass.edu/fileadmin/pdf/Mann.pdf>
- Sanchez GJJ, Goodman MM, Stuber CW. 2000. Isozymatic and morphological diversity in the races of maize in Mexico. *Economical Botany* 54: 43-59.
- Small E. 1984. Hybridization in the domesticated-wee-wild complex. En: *Plant Biosystematics*. Grant WF (ed). Toronto Academic pp. 195-210.
- Wellhausen E, Roberts J, Roberts LM, Hernández E. 1952. Races of Maize in Mexico: Their Origin, Characteristics, and Distribution. Harvard University Press, Cambridge, MA.

## Efectos adversos potenciales del Gen Viral VI, limitaciones de la noción de equivalencia sustancial y del plan de monitoreo asociado a las solicitudes.

David Quist

### Comentario general

Las solicitudes vigentes de liberación de maíz GM carecen de una evaluación rigurosa sobre los efectos posibles del Gen Viral VI el cual, según descubrimientos recientes, se encuentra en el promotor del transgén introducido en la mayoría de las plantas genéticamente modificadas. Para subsanar éste y otros vacíos, la investigación en bioseguridad requiere de evaluaciones más completas de todo el OGM y de sus características introducidas según criterios científicos y no supuestos arbitrarios (como los que resultan de la equivalencia sustancial). Adicionalmente, las solicitudes en cuestión requieren la inclusión de un plan de monitoreo lo suficientemente amplio para ayudar a evitar posibles efectos adversos. Estos puntos se detallan a continuación.

### Los efectos adversos potenciales del Gen Viral VI, descubierto dentro de la secuencia de ADN del promotor p-35S que es utilizado en las plantas genéticamente modificadas.

El promotor p-35S, derivado del virus del mosaico de la coliflor (CaMV), es una secuencia transgénica comúnmente usada para la iniciación de la expresión del transgén introducido. Por ejemplo, 27 de las 28 solicitudes de liberación de maíz o algodón transgénico presentadas al gobierno de México en 2013 contienen al p-35S del CaMV<sup>5</sup>.

En Europa se descubrió recientemente que existe una secuencia que forma parte de la secuencia del p-35S, pero que por sí misma también es una secuencia viral llamada "Gen VI."<sup>6</sup> El Gen VI viral se encuentra en un marco de lectura abierta (ORF, por las siglas en inglés, Open Reading Frame) bien conocido y dirige la producción de la proteína P6. La proteína P6, por otro lado tiene varias funciones diferentes, participando en por lo menos cuatro funciones del ciclo de infección viral: interfiere con la supresión del si-ARN, así como del ds-ARN, y además promueve la transactivación de la transcripción<sup>7</sup>

Los estudios en la planta modelo *Arabidopsis thaliana* sobre la expresión del Gen VI a través de la proteína P6 demuestran que tienen la capacidad de suprimir el silenciamiento de ARN<sup>8</sup> a través del ARN de interferencia (iARN), que es una función esencial en la defensa contra invasiones virales. La supresión de ARN también puede tener cambios fenotípicos en la planta, y puede causar daños a su capacidad de reproducción y sobrevivencia, tales como la clorosis y el crecimiento retardado<sup>9</sup>, causados por la alteración en la regulación del ARN mensajero endógeno<sup>10</sup>. En general, y como lo indican estudios muy recientes<sup>11</sup>, la alteración de los mecanismos de defensa causada por la expresión del Gen VI y de la proteína P6 deben considerarse como alteraciones de consecuencias no sólo fisiológicas y ecológicas, sino también evolutivas.

*Para poder evaluar el impacto de la inserción del promotor p-35S en las plantas transgénicas es necesario establecer, para cada evento de inserción y para cada tipo de planta, hasta qué punto se expresan el Gen VI y la proteína P6, con qué niveles de abundancia, y cuáles son sus estructuras y funciones. Las técnicas de caracterización "ómica" proporcionan una herramienta para abordar estas cuestiones<sup>12</sup>, y para determinar la actividad de transcripción, como lo son los efectos de posición en el genoma relacionados con el sitio de introducción del gen VI bajo diferentes condiciones*

5" <http://www.senasica.gob.mx/includes/asp/download.asp?IdDocumento=25576&IdUrl=61441>

6" Podevin N and du Jardin P (2012) *GM Crops and Food* 3: 1-5.

7 Palanichelvam K, Schoelz JE (2002) *Virology* 293: 225-233.

8" Love AJ, Laird J, Holt J, Hamilton AJ, Sadanandom A, Milner JJ. (2007) *J Gen Virol.*: 88:3439-44.

9" Geri C, Cecchini E, Giannakou ME, Covey SN, Milner JJ. (1999) *Mol Plant/Microbe Intrt.* 12(5):377-84.

10" Cecchini E, Gong Z, Geri C, Covey SN, Milner JJ. (1997) *Mol Plant/Microbe Intrt.* 10(9):1094-101.

11" Love AJ, C Geri, J Laird, C Carr, BW Yun, GJ Loake et al (2012) *PLoS One* 7(10): e47535.

12" Heinemann, JA; Kurenbach B and David Quist (2011). *Environment International* 37: 1285-1293

ambientales. Adicionalmente, estas investigaciones deben incluir monitoreos y vigilancia general adaptados a casos específicos<sup>13,14</sup>.

### **El concepto de “equivalencia sustancial” no es científicamente válido como un medida de bioseguridad**

El concepto de “equivalencia sustancial” (ES) está basado en la idea que la seguridad de un OGM puede ser inferida de la comparación de un grupo restringido de características entre el OGM y su contraparte convencional<sup>15</sup>. Es decir, si esta comparación concluye que ambos son "sustancialmente equivalentes", entonces el OGM en cuestión se considera seguro.

Investigadores han señalado las deficiencias en la lógica, razonamiento científico y alcance limitado de este enfoque<sup>16,17,18</sup>. El principal problema es que se trata de un concepto subjetivo. El juicio sobre cuándo algo es o no "sustancialmente" equivalente es, en realidad, una decisión arbitraria.

Adicionalmente, el uso del concepto de ES en la evaluación de riesgos generalmente se basa en el análisis de pocas características comunes (como ser la composición química o nutricional). Cuando este análisis concluye que existe “equivalencia” se asume al OGM como seguro para la salud o el medio ambiente, obviando evaluaciones sobre los posibles efectos toxicológicos e inmunológicos. Por ejemplo, a través del análisis de ES se podría llegar a la conclusión que debido a la similitud de sus propiedades químicas y nutricionales, el consumo de la carne de una vaca sana sería equivalentemente segura a la de una infectada con encefalopatía espongiiforme bovina (EEB), cuando claramente no lo es.

La investigación en bioseguridad requiere de una evaluación más completa de todo el OGM y sus características introducidas. Por ejemplo, los estudios comparativos proteómicos<sup>19</sup> entre plantas transgénicas y sus homólogas convencionales, y análisis transcriptómicos<sup>20</sup> del transgen proveen información científicamente sólida sobre la seguridad del OGM.

Con el fin de alcanzar solidez científica, estudios comparativos sobre la seguridad y riesgo de OGMs requieren del uso de controles isogénicos, muestras originadas en una gama de localidades colectadas durante más de una temporada de crecimiento, aplicación de pruebas estadísticamente válidas, y valoraciones con productos estructural y funcionalmente idénticos a los que serán consumidos. Por último, la falta de pruebas sobre daño no debe interpretarse como evidencia de la inexistencia de los mismos.

### **Planes de monitoreo en la introducción de OMG en el medio ambiente**

Monitoreo es el seguimiento de los organismos genéticamente modificados (OGMs) liberados en el medio ambiente con el objetivo de detectar la presencia de cambios (ya sea en el/los medio/s receptor/es o en el OGM en cuestión) que pudieran tener efectos adversos.

Cuando se realiza una evaluación del riesgo antes de alguna aprobación de un OGM (con propósitos de estudios piloto, o introducciones experimentales o comerciales), la evaluación del riesgo y sus hallazgos pueden verse limitados por las incertidumbres identificadas en el proceso, las cuales no siempre pueden resolverse con mayor información. Por ello, las estrategias de monitoreo pueden ser una manera eficaz para verificar hipótesis o escenarios de riesgo en caso de aprobación

---

13 AHTEG (2012). “Monitoring LMOs released into the environment”, *Guidance for Risk Assessment*, Part III, Cartagena Protocol on Biosafety, [http://bch.cbd.int/onlineconferences/guidance\\_ra.shtml](http://bch.cbd.int/onlineconferences/guidance_ra.shtml)

14 Heinemann, J.A. and El-Kawy, O.A. (2012) *Environment International* 45: 68-71.

15" EFSA (2006) *The EFSA Journal* 727: 1-135

16" Millstone, E. Brunner, E. and Mayer, S. (1999) *Nature* 401: 525-26

17" Kuiper, H. A. et al. (1998) *Food Safety Evaluation of Genetically Modified Foods as a Basis for Market Introduction* (Ministry of Economic Affairs, The Hague).

18 Then, C. & Potthof, C., 2009, risk reloaded – risk analysis of genetically engineered plants within the European Union, Testbiotech report, [www.testbiotech.org](http://www.testbiotech.org)

19" Zolla L et al. (2008) *Journal of Proteome Research* 7: 1850-1861

20" Rang A., Linke, B., Jansen B.(2005) *Eur Food Res Technol* 220:438-443

de un OGM<sup>21</sup>. Es decir, los resultados de las actividades de monitoreo son útiles para verificar las conclusiones de la evaluación del riesgo.

El monitoreo también es importante para dar seguimiento al cumplimiento de las normas (por ejemplo, evitación de posibles “escapes” de OGMs en las inmediaciones de las parcelas experimentales), verificar la eficacia de la gestión del riesgo y planes de custodia, o identificar los efectos adversos no abordados durante la evaluación del riesgo (por ejemplo, efectos de largo plazo o acumulativos). Por tanto, el monitoreo también actúa como un sistema de alerta temprana para los efectos no deseados<sup>22</sup>.

De conformidad con la práctica internacional de vigilancia, el monitoreo incluye: Seguimiento de casos específicos (SCE) y vigilancia general (VG). El SCE se refiere a la observación de posibles efectos adversos identificados en la evaluación del riesgo, o de la eficacia de las prácticas de gestión de los mismos definidos con base a los objetivos de protección. Por su lado, la VG es el monitoreo de los efectos adversos no previstos en la evaluación del riesgo debido a la complejidad del medio receptor del OGM, los modos desconocidos de posible exposición al OGM, los efectos adversos acumulativos o combinatorios, u otros. La VG también es una herramienta importante en la gestión del riesgo con relación a los objetivos de protección de un país (como ser, la protección de especies en sus centros de origen) especialmente en los casos de amenazas graves o irreversibles<sup>23</sup>.

*La descripción del plan del SCE o de la VG debe ser transparente y presentada con suficiente detalle para asegurar su calidad científica, y requiere incluir:*

1. Identificación y priorización de los objetivos de protección, de los efectos potencialmente adversos, y de los indicadores y parámetros de vigilancia (“¿qué monitorear?”);
2. Identificación y descripción de métodos de control adecuados y el establecimiento de líneas de base (“¿cómo controlar?”);
3. Duración y embergadura de las actividades de vigilancia (“¿cuánto tiempo se debe controlar?”);
4. Lugares y regiones de control (“¿dónde vigilar?”);
5. Uso de las redes de vigilancia existentes;
6. Notificación de los resultados; y
7. Análisis de la viabilidad y de los posibles desafíos asociados con la implementación del plan de monitoreo recomendado.

---

21 Züghart, W., Benzler A, Berhorn F, Sukopp U, Graef F. 2008. *Euphytica* 164: 845-52.

22 Heinemann, J.A. and El-Kawy, O.A. (2012) *Environment International* 45: 68-71.

23 Züghart, W., Raps, A, Wust-Saucy, Dolezel M, Eckerstorfer M. 2011. pp. 58. Monitoring of Genetically Modified Organisms. Vienna: Wmweltbundesamt GmbH. [http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/positionspapier\\_monitoring-gentechni](http://www.bfn.de/fileadmin/MDB/documents/themen/monitoring/positionspapier_monitoring-gentechni)



## Consideraciones bioéticas

### *León Olivé*

En el caso de liberación de semillas de maíz genéticamente modificadas (GM), desde un punto de vista ético, la decisión no debe tomarse sólo con base en criterios técnicos, sino que es necesario considerar los riesgos en juego, así como las formas apropiadas para contender con esos riesgos, en virtud de que las consecuencias de dicha liberación afectan no sólo al ambiente, sino también a diversos intereses de prácticamente todos los grupos sociales en el país. En México no existen los mecanismos apropiados para vigilar tales riesgos, y menos para tomar decisiones, con una amplia participación de representantes legítimos de los diversos grupos afectados, en el caso de que se constaten daños al ambiente o a la salud de seres humanos y de animales. Mientras no se establezcan ese tipo de mecanismos en México, y no se desarrolle un amplio y auténtico debate nacional con la participación de todas las partes interesadas, lo correcto desde un punto de vista ético es suspender el uso de tecnologías transgénicas y promover el uso intensivo, mediante adecuados estímulos, de otras tecnologías tradicionales con menor riesgo ambiental, social y cultural.

El fundamento de la afirmación del párrafo anterior consiste en analizar a la ciencia como un sistema de acciones intencionales, mediante las cuales se buscan deliberadamente ciertos objetivos, para obtener los cuales se utilizan medios específicos y cuyas consecuencias muchas veces incluyen una parte importante de los objetivos que se persiguen, pero que en otras ocasiones obtienen resultados imprevistos y no buscados. Ésta también es una característica de los sistemas tecnocientíficos, como típicamente lo son los sistemas donde se generan organismos genéticamente modificados y, más aún, cuando éstos se liberan al ambiente. Las intenciones de los agentes, los fines que se buscan, los medios utilizados y los resultados de hecho producidos, la mayor parte de los cuales no pueden preverse en el momento de diseñar y comenzar a operar el sistema tecnocientífico, todo esto es susceptible de evaluación desde un punto de vista ético. Como en numerosas ocasiones los resultados afectan a la sociedad y al ambiente, no es éticamente aceptable que la evaluación quede exclusivamente en manos de los expertos científicos y tecnólogos, o en manos de políticos, sino que lo éticamente correcto es que haya una amplia participación de todos los grupos afectados por medio de representantes legítimos.

La problemática del maíz en México está íntimamente ligada a la operación de determinadas prácticas tecnocientíficas, en la medida en que muchas de éstas tienen el interés de colocar sus productos en el mercado mexicano, respondiendo principalmente a valores económicos, sobre todo el de la ganancia, que privilegian por encima de otros como la justicia social, la preservación de la biodiversidad y el derecho de los campesinos a realizar sus tradicionales prácticas productivas (de cultivo) que, para continuar siendo tradicionales y constitutivas de su identidad colectiva, deberían hacerse sin semillas transgénicas.

La estructura axiológica de las prácticas tecnocientíficas lleva a confrontaciones entre grupos con intereses distintos, algunos grupos pueden tener interés en ganancias económicas porque han invertido capitales, pero otros grupos pueden privilegiar la preservación de la biodiversidad y el derecho de los grupos tradicionales, como los pueblos indígenas, a preservar su identidad, incluyendo sus prácticas de cultivo tradicionales. Por otra parte, el uso de OGM ha traído consigo la concentración y monopolización del mercado, con lo cual se ha afectado intereses de pequeños productores. Por todo esto, la resolución de las confrontaciones tiene que ser política, en el mejor sentido de política, a saber, el de la búsqueda de procedimientos y mecanismos para la toma de decisiones que afectan la esfera pública, los cuales deberían resultar aceptables para todos los interesados, siempre y cuando se acepte el supuesto de que nadie tiene derecho a imponer su punto de vista y anteponer sus intereses particulares a los de los demás.

En suma, en virtud de los riesgos que generan los sistemas productores de maíz GM, de la dependencia tecnológica y económica que implican por parte de pequeños y medianos productores con respecto a grandes compañías transnacionales, y de la seria amenaza a la diversidad biocultural, que es patrimonio del pueblo de México, y que debe preservarse para las futuras generaciones, es un

imperativo ético establecer en México mecanismos que mediante una amplia participación de todos los grupos afectados vigilen los riesgos que generan los sistemas tecnocientíficos que producen y liberan semillas de maíz GM y puedan tomar decisiones y realizar acciones en el caso de que, por acuerdo común, se constate que se están produciendo daños al ambiente o a la sociedad. Mientras no existan estos mecanismos, la actitud éticamente correcta, por parte de los responsables de la toma de decisiones en el Estado mexicano, es la de no otorgar permisos para la liberación al ambiente de semillas de maíz genéticamente modificadas.

## Alternativas agroecológicas

### Mariana Benítez

Ante las crisis alimentaria frecuentemente se enfatiza la necesidad de incrementar la producción de alimento. En este contexto, se ha dicho que "...los OGM potencialmente proveen oportunidades para reducir la malnutrición, especialmente en países en desarrollo, así como para aumentar la producción y asistir en la adaptación de la agricultura al cambio climático, aunque claramente se necesitan fuertes dispositivos de seguridad para controlar cualquier riesgo potencial"<sup>24</sup>. No obstante, en el caso de México no existe información pública suficiente que permita afirmar que el balance de los costos nacionales y el posible aumento en la producción asociados a la liberación de maíz GM justifique su liberación (Perales, en este documento). Más aún, extensos reportes sobre el tema (CCA 2004; Schutter 2012), indican que detrás de la inseguridad alimentaria en la escala nacional no hay un problema de producción, sino de equidad en el acceso a los alimentos, como lo indicó recientemente la representante de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) en México. Según datos de la FAO, actualmente la inseguridad alimentaria en México ha alcanzado al 22 % de la población del país, mientras que 35% de los alimentos que se producen se desperdician por falta de condiciones adecuadas de transporte, almacenamiento y por despilfarro. Por esta razón, es necesario estudiar, apoyar institucionalmente y desarrollar esquemas de producción agrícola que contribuyan a hacer disponibles para todos los sectores sociales alimentos diversos, saludables y de buena calidad.

Ante esta necesidad mundial, se ha desarrollado la *agroecología*, una disciplina que estudia los procesos que operan en los sistemas agrícolas, aplicando la teoría ecológica para mejorar su diseño, manejo, y producción (Altieri & Toledo, 2011; Vandermeer, 2009). Esta disciplina propone un esquema de producción agrícola en pequeña escala que permita maximizar la productividad y disponibilidad de alimento a gran escala, reduciendo al mismo tiempo el uso de insumos agrícolas (e.g. fertilizantes inorgánicos, plaguicidas, herbicidas, semillas GM). Experiencias documentadas por el Relator Especial de la ONU, Olivier De Schutter, indican que la aplicación de los principios y prácticas agroecológicas en 57 países en vías de desarrollo, han permitido incrementar hasta en un 80% la productividad. De hecho, algunos proyectos recientes en 20 países africanos mostraron que la productividad se duplicó luego de un período de entre 3 y 10 años de aplicar estrategias de manejo agroecológicas.

El agroecosistema mexicano de más extendido y diverso es *la milpa*, entendida como un policultivo de origen mesoamericano basado en el maíz, y cuya superficie en general no excede las tres ha. Además del maíz, la milpa incluye combinaciones de frijol, calabaza, chile, tomate, arvenses semidomesticadas, hortalizas, entre otras especies de plantas. La milpa ha tenido un papel central en la diversificación de las especies vegetales asociadas a la misma y tanto su composición como su dinámica varían de manera importante en función de las condiciones culturales, climáticas y geográficas del país (Boege 2010). Un aspecto sumamente interesante de la milpa es que ésta constituye una unidad ecológica y evolutiva que exhibe propiedades como la defensa frente a insectos que en sistemas de monocultivo intensivo frecuentemente se identifican como plagas o malezas (Morales 2002). Este tipo de mecanismos defensivos es resultado de la historia de domesticación bajo escenarios ecológicos donde los consumidores del maíz, calabaza, frijol, etc. han estado siempre presentes, así como de la diversidad de plantas que caracteriza a los policultivos. Entender y aprovechar estas propiedades, así como la relación de la diversidad biológica al interior y exterior de la milpa, da pie a opciones viables para enfrentar la crisis alimentaria, posibles plagas y enfermedades, y los efectos del cambio climático en México (Perfecto et al., 2009; García-Barrios et al., 2009). Ello, sin necesidad de generar los serios riesgos asociados a la liberación de maíz GM (e.g. toxicidad de glifosato y glufosinato de amonio, efectos del flujo génico en variedades nativas de maíz en su centro de origen, efectos adversos del gen VI, efectos socioeconómicos adversos; véase

24 Declaración del Comisionado Europeo para la Investigación, Innovación y Ciencia, Máire Geoghegan-Quinn, en el marco de la publicación del reporte *Una Década de investigación en OGM fundada por la UE* (2010).

Alvarez-Buylla et al, Arellano, Perales, Quist, Escalante y Olivé en este documento).

## Referencias

- Boege, E., 2010. *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. INAH, México.
- CCA, 2004. *Maíz y Biodiversidad, Efectos del maíz transgénico en México*. Secretariado, Informe del Ambiental, de la Comisión para la Cooperación Ambiental.
- García-Barrios, L. et al., 2009. Neotropical Forest Conservation, Agricultural Intensification, and Rural Out-migration: The Mexican Experience. *BioScience*, 59(10), pp.863–873.
- Morales, H. 2002. Pest Management in Traditional Tropical Agroecosystems: Lessons for Pest Prevention Research and Extension. *Integrated Pest Management Reviews* 09(7):145-163
- Perfecto, I., Vandermeer, Jhon & Wright, A., 2009. *Nature's Matrix : Linking Agriculture , Conservation and Food Sovereignty*, Routledge.
- Schutter, O. De, 2012. *Informe del Relator Especial de la ONU sobre el derecho a la alimentación*.
- Torres Torres, F., 2002. Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México. Datos, hechos y Lugares. *Notas. Revista de Información y Análisis*, Número 22, pág. 15-26.

## Datos de los autores

### **Elena R. Álvarez-Buylla**

Dirección: Instituto de Ecología, Circ. Exterior anexo al Jardín Botánico. Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México, D.F.

E-mail: [eabuylla@gmail.com](mailto:eabuylla@gmail.com)

Investigadora en el Instituto de Ecología de la UNAM

### **Alma Piñeyro Nelson**

Dirección: Department of Plant Microbial Biology and the University and Jepson Herbaria, University of California, Berkeley, California 94720, USA.

E-mail: [almapineyro@gmail.com](mailto:almapineyro@gmail.com)

Investigadora en la Universidad de Berkeley, California.

### **Emiliano Rodríguez**

Dirección: Instituto de Ecología, Circ. Exterior anexo al Jardín Botánico. Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México, D.F.

E-mail: [mega.fciencias@gmail.com](mailto:mega.fciencias@gmail.com)

Estudiante de posgrado

### **Antonio Serratos**

Dirección: Universidad Autónoma de la Ciudad de México

E-mail: [aserratos@gmail.com](mailto:aserratos@gmail.com)

Investigador de la Universidad Autónoma de la Ciudad de México

### **Alejandro Espinosa**

Dirección: FES Cuatitlán, UNAM e INIFAP

E-mail: [espinoale@yahoo.com.mx](mailto:espinoale@yahoo.com.mx)

Investigador de la UNAM y el INIFAP

### **Rodolfo Omar Arellano Aguilar**

Dirección: Instituto de Investigaciones Biomédicas, Ciudad Universitaria, D.F. 04510, Coyoacán, Mexico.

E-mail: [omar.arellano2@gmail.com](mailto:omar.arellano2@gmail.com)

Investigador en el Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM

Profesor de la Facultad de Ciencias, UNAM.

### **Hugo Perales Rivera**

Dirección: Corral de Piedra 61, Col. Real del Monte, San Cristóbal, Chiapas, C.P. 29290. México.

E-mail: [hperales@ecosur.mx](mailto:hperales@ecosur.mx)

Investigador en El Colegio de la Frontera Sur

### **Ana Elena Escalante Hernández**

Dirección: Instituto de Ecología, Circ. Exterior anexo al Jardín Botánico. Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México, D.F.

E-mail: [anaelena.escalante@gmail.com](mailto:anaelena.escalante@gmail.com)

Investigadora en el Instituto de Ecología de la UNAM

### **David Quist**

Dirección: Hjalmar Johansensgt. 208, N-9007 Tromsø, Noruega.

E-mail: [david.quist@genok.no](mailto:david.quist@genok.no)

Investigador en el Norwegian Institute of Gene Ecology

**León Olivé Morett**

Dirección: Circuito Maestro Mario de la Cueva s/n, Ciudad Universitaria, C.P. 04510, Coyoacán, México, D.F

E-mail: [olive@unam.mx](mailto:olive@unam.mx)

Investigador en el Instituto de Investigaciones Filosóficas de la UNAM.

**Mariana Benítez Keinrad**

Dirección: Instituto de Ecología, Circ. Exterior anexo al Jardín Botánico. Ciudad Universitaria. Del. Coyoacán, 04510 México, D.F.

E-mail: [marianabk@gmail.com](mailto:marianabk@gmail.com)

Investigadora en el Instituto de Ecología de la UNAM