

EL MAÍZ EN PELIGRO ANTE LOS TRANSGÉNICOS
Un análisis integral sobre el caso de México

Comité Editorial del CEIICH

Maya Victoria Aguiluz Ibargüen

Norma Blazquez Graf

Ana María Cetto Kramis

Diana Margarita Favela Gavia

José G. Gandarilla Salgado

Elke Koppen Prubmann

Rogelio López Torres

Mauricio Sánchez Menchero

Isauro Uribe Pineda

El maíz en peligro ante los transgénicos

Un análisis integral sobre el caso de México

Elena R. Álvarez-Buylla
Alma Piñeyro Nelson
(coordinadoras)

César Carrillo Trueba
(edición)



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

CENTRO DE INVESTIGACIONES INTERDISCIPLINARIAS EN CIENCIAS Y HUMANIDADES
UNIÓN DE CIENTÍFICOS COMPROMETIDOS CON LA SOCIEDAD
UNIVERSIDAD VERACRUZANA
MÉXICO, 2013

SB191

.M2

M35

El maíz en peligro ante los transgénicos : un análisis integral sobre el caso de México / Elena R. Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro (coordinadoras). – México : UNAM, Centro de Investigaciones Interdisciplinarias en Ciencias y Humanidades : Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, 2013. 568 p. – (Colección debate y reflexión)

ISBN 978-607-02-4705-7

1. Maíz – Variedades – México. 2. Maíz – Ingeniería genética – México. 3. Plantas transgénicas – México. I. Álvarez-Buylla, Elena R., ed. II. Piñeyro, Alma, ed. III. Ser.

Primera edición, 2013



D.R. © Universidad Nacional Autónoma de México
Centro de Investigaciones Interdisciplinarias
en Ciencias y Humanidades
Torre II de Humanidades 4º piso,
Circuito Escolar, Ciudad Universitaria
www.ceiich.unam.mx



D.R. © Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad
San Pedro 70, Col. El Carmen, Coyoacán, México, D. F.
www.uccs.mx



En coedición con:



Universidad Veracruzana
Dirección General Editorial
Hidalgo núm. 9, Centro, Xalapa, Ver.
Apartado postal 97, CP 91000
(Tel/fax) 228 818 59 80; 818 13 88
diredit@uv.mx



Instituto de Ecología
Circuito Exterior s/n, Anexo al Jardín Botánico Exterior
Ciudad Universitaria
www.ecologia.unam.mx



Instituto de Biología
Circuito Exterior s/n, Anexo al Jardín Botánico Exterior
www.ibiologia.unam.mx/



Centro de Investigaciones en Ecosistemas
Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701
Col. Ex-Hacienda de San José de la Huerta
Morelia, 58190, Michoacán
www.oikos.unam.mx/CIEco



Programa Universitario de Medio Ambiente
Edificio de Programas Universitarios, planta alta
Circuito de la Investigación Científica
Ciudad Universitaria
www.puma.unam.mx

Cuidado de la edición: Rogelio López Torres e Isauro Uribe Pineda con la colaboración de Diana Romo Ríos

Diseño de portada: Rocío Mireles y Erika Magaña

Impreso y hecho en México

ÍNDICE



Prefacio	11
<i>José Sarukhán K.</i>	
Introducción	15
<i>Elena R. Álvarez-Buylla, César Carrillo Trueba, León Olivé y Alma Piñeyro Nelson</i>	
Capítulo 1	
Origen y diversidad del maíz	25
<i>Ángel Kato, Rafael Ortega Paczka, Eckart Boege, Ana Wegier, José Antonio Serratos Hernández, Valeria Alavez, Lev Jardón-Barbolla, Leticia Moyers y Diego Ortega Del Vecchyo</i>	
Capítulo 2	
Las líneas de maíz transgénico disponibles para la agricultura: promesas, hechos y potencial en el contexto de México	61
<i>Valeria Alavez, Elena R. Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro Nelson, Ana Wegier, José Antonio Serratos Hernández y Jorge Nieto-Sotelo</i>	
Capítulo 3	
Flujo génico.	87
<i>Valeria Alavez, Alma Piñeyro Nelson y Ana Wegier</i>	
Capítulo 4	
Incertidumbres, riesgos y peligros de la liberación de maíz transgénico en México.	111
<i>Elena R. Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro Nelson, Antonio Turrent, Jorge Nieto-Sotelo, Ana Wegier, Valeria Alavez, Leonora Milán, Terje Traavik y David Quist</i>	

Capítulo 5

Riesgos potenciales no previstos de los alimentos transgénicos. . . . 165

Rubén López-Revilla y Claudio Martínez Debat

Capítulo 6

La siembra comercial de maíz transgénico en México
en el marco de la bioeconomía y la política pública. 187

Alejandro Polanco Jaime y Arturo Puente González

Capítulo 7

El maíz: su importancia en la alimentación
de la población mexicana 231

Héctor Bourges R.

Capítulo 8

Bioseguridad y conservación del maíz nativo en México 249

José Antonio Serratos Hernández y Alejandra Celeste Dolores Fuentes

Capítulo 9

Ciencia global, el maíz mexicano y el neoliberalismo
molecular: cambiando los fundamentos de la ciencia,
innovación y políticas para una alimentación y una
agricultura sostenibles. 279

Brian Wynne

Capítulo 10

Ética y transgénicos: el caso del maíz en México 313

León Olivé, Jorge Linares, Yolanda Massieu y Leonora Milán

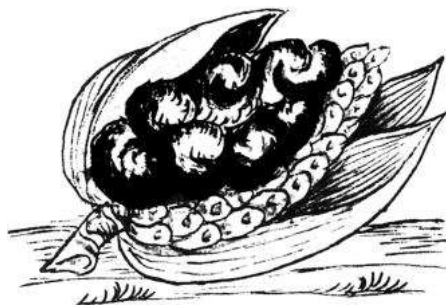
Capítulo 11

Alternativas tecnológicas no transgénicas para el
mejoramiento y la producción sustentable de maíz en México . . . 333

*Catherine Marielle, Antonio Turrent Fernández, Lucio Díaz,
Marta Astier, Narciso Barrera-Bassols, Carlos H. Ávila Bello,
Alejandra Celeste Dolores Fuentes*

Capítulo 12	
Agriculturas campesinas y percepción social del maíz transgénico en el campo mexicano: un estudio de caso en Oaxaca.	377
<i>Elena Lazos Chavero y Dulce Espinosa de la Mora</i>	
Capítulo 13	
Lineamientos mínimos para un programa nacional de biomonitoreo y bioseguridad de OGMs en México	395
<i>Alma Piñeyro Nelson, Elena R. Álvarez-Buylla, Alejandra Celeste Dolores Fuentes y José Antonio Serratos Hernández</i>	
Capítulo 14	
Una visión no oficial de la ley de semillas y ley federal de variedades vegetales, a quién ayuda, a quién protege	415
<i>Alejandro Espinosa Calderón, Antonio Turrent Fernández, Margarita Tadeo Robledo, Adelita San Vicente Tello, Noel Gómez Montiel, Mauro Sierra Macías, Artemio Palafox Caballero, Roberto Valdivia Bernal, Flavio A. Rodríguez Montalvo, Benjamín Zamudio González y Pablo Andrés Meza</i>	
Capítulo 15	
La protección oficial del maíz frente a los transgénicos: una simulación de estado	441
<i>Lizy Peralta y Catherine Marielle</i>	
Capítulo 16	
La producción de maíz en México y la introducción de OGM: ¿más inseguridades o soberanía alimentaria?.	455
<i>Beatriz De la Tejera H., George Dyer, Blanca Rubio, Joaquín Morales, Marta Astier, Narciso Barrera-Bassols, Eckart Boege y Ana de Ita</i>	
Capítulo 17	
La disputa por el maíz: comunalidad <i>vs</i> transgénicos en México.	493
<i>Adelita San Vicente Tello y Areli Carreón</i>	

Conclusiones	527
<i>Mariana Benítez Keinrad, Alma Piñeyro Nelson y Elena R. Álvarez-Buylla</i>	
Epílogo. Nuevas dimensiones biológicas del riesgo implicado en la liberación de organismos genéticamente modificados	537
<i>Ignacio Chapela Mendoza</i>	
Colaboradores: adscripción y semblanzas (por orden alfabético de primer apellido)	541



PREFACIO



José Sarukhán

En esta obra de varios autores, los compiladores han tratado de conjuntar una serie de facetas pertinentes para lograr un más cabal entendimiento del complejo problema de la posible liberación comercial —en el futuro muy cercano— de maíz transgénico en México. Los casi veinte capítulos cubren diversos aspectos de la problemática relacionada a la presencia de maíz transgénico en la actualidad en México. Incluye tópicos desde la biología molecular hasta los asuntos de índole ética y legal, pasando por temas ambientales, agrícolas socio—económicos y de salud humana.

Para quienes no estén informados de ello, nuestro país es el centro de origen de la domesticación del maíz, proceso iniciado hace por lo menos unos siete mil años; que éste haya sido un proceso mono o policéntrico es algo que aún está por definirse. De lo que no hay duda es que prácticamente todo el actual territorio mexicano, con excepción de zonas en donde es imposible que alguna de las razas nativas crezca, puede considerarse como centro de diversidad genética. Dicha afirmación está basada en los resultados de un estudio reciente que la Comisión para el conocimiento y uso de la biodiversidad (CONABIO) coordinó con el apoyo de SEMARNAT, SAGARPA y CIBIOGEM y que concluyó en 2011 (www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html) Un importante resultado del estudio es que por primera vez hemos tenido datos actuales de las regiones en donde se están cultivando en este momento las diferentes razas de maíz, así como la presencia de

poblaciones de teocintle, el progenitor más importante del maíz (www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/teocintle2012.html), información que era fragmentaria e incompleta hasta ahora, a pesar de la importancia del maíz como alimento básico para la población mexicana.

El estudio, realizado por más de doscientos investigadores que trabajan en cerca de 70 instituciones mexicanas y que duró cinco años, arrojó el resultado de que existen alrededor de sesenta razas nativas, dependiendo de con qué tanta astringencia o laxitud se diferencien algunas de ellas (www.biodiversidad.gob.mx/ usos/maices/razas2012.html). Todas son producto de un proceso de selección que ha ocurrido —y sigue haciéndolo— por miles de años en el sistema de milpa. El maíz es —probablemente— el ejemplo que ilustra de mejor manera el proceso de evolución bajo domesticación y que sigue vigente, aunque en algunos casos de manera muy vulnerable, en el presente. En términos “modernos” uno podría describir ese proceso de domesticación como una investigación meticulosamente monitoreada por las personas que atendían las zonas de cultivo, evaluando las diferentes características de las plantas de maíz, desde su capacidad de crecimiento y rendimiento en las condiciones ambientales de que se trataba, el tiempo de maduración de las mazorcas, hasta las características organolépticas de los granos; esto se complementa con una selección de las mazorcas que resultaban interesantes para sus propósitos, entrecruzando sus materiales con los de otras regiones (¡sí, sí estaban haciendo biotecnología!), guardando semilla para futuras cruza, intercambiando parte de ellas con sus vecinos o con otros grupos étnicos en otras regiones, lo que resultaba en la distribución espacial de genotipos y la ampliación de la variabilidad genética del “pool” global de genes del maíz en nuestro territorio.

Este amplio y generoso proceso de compartimiento de material genético, la evaluación de los productos de las entrecruzas, y la selección de los materiales favorables, ha sido el responsable de la generación de la enorme gama de diversidad genética, que tiene un valor incalculable como fuente de variación genética para la producción de nuevas variedades e híbridos adaptables a numerosas condiciones y poseedora de diferentes características de uso.

Esto implica que la conservación de la diversidad genética actual del maíz en México no puede efectuarse simplemente mediante colecciones de granos de las diferentes variedades nativas, conservadas en bancos de germoplasma. Eso equivaldría a conservar solo una foto

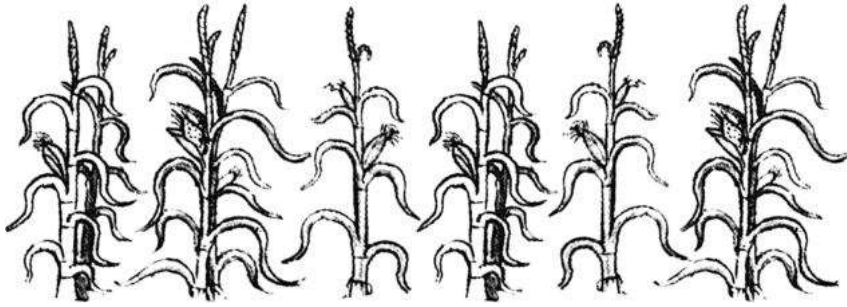
de una película, o solamente conservar los productos del proceso y no el proceso mismo. Es indispensable conservar el proceso por el cual se ha generado —y se sigue generando— la gran variabilidad genética de nuestros maíces. Esto equivale a la conservación en el campo de cultivo de las variedades, algo que Bellon y van Etten (2013) han llamado *on farm conservation*, y que básicamente consiste en el cultivo de un conjunto de variedades o razas nativas, la existencia de múltiples usos y formas de preparación de los materiales cosechados, muy ligados a preferencias culturales, un conjunto de prácticas de manejo agrícola y, finalmente, normas sociales de organización que mantienen todos estos aspectos. Sin duda, esto implica también la conservación de las poblaciones de los parientes silvestres del cultivo, en el caso del maíz, de los teocintle. El resultado de este tipo de conservación en realidad constituye un “servicio evolutivo” (Faith *et al.*, 2010) a similitud de los servicios ambientales que los ecosistemas proveen a la sociedad y que permiten tener opciones de respuesta ante situaciones impredecibles del entorno ambiental.

En ocasiones previas he mencionado que el problema fundamental acerca de la expansión de siembras comerciales de los actuales materiales transgénicos de maíz es que ninguno de ellos resuelve, ya no digamos las necesidades de producción de más de 85% de las zonas maiceras (la mayor parte de temporal) del país, sino ni siquiera las de las zonas de riego, que es el único sitio donde esas variedades transgénicas pueden prosperar. No hay mayores rendimientos y los ahorros en el costo de los insumos (plaguicidas y herbicidas) son muy variables.

Nos encontramos pues ante la disyuntiva de arriesgar la riqueza (no sólo en términos de diversidad genética, sino directamente de potencial económico) que las sesenta variedades nativas de maíz representan como opciones de mejoramiento de nuevas variedades adaptadas a nuevas y desconocidas condiciones ambientales, no sólo en nuestro país, sino globalmente, por la introducción comercial de las líneas transgénicas actuales que no representan ventaja alguna para la agricultura nacional, ciertamente al menos para la gran mayoría de los campesinos productores de maíz de México. Éste y otros problemas relacionados a conflictos de propiedad intelectual y de licencias en el contexto social de la agricultura de temporal (y también de riego) de México han sido tratados por nosotros ya anteriormente (Acevedo *et al.*, 2011). Es una decisión claramente perteneciente a la responsabilidad de rectoría del Estado mexicano sobre la seguridad y la soberanía alimentaria del país.

Referencias bibliográficas

- Acevedo F., E. Huerta, C. Burgeff, P. Koleffý J. Sarukhán J. 2011.»Is transgenic maize what Mexico really needs?», en *Nature Biotechnology*, núm. 29, pp. 23-4.
- Bellon, M. R. y J. van Etten. 2013.»Climate change and on-farm conservation of crop landraces in centres of diversity”, en *Plant Genetic Resources and Climate Change*, Jackson, M., B. Ford-Lloyd y M. L. Parry (eds.). CABI Publishing, Wallingford, UK y Nueva York. En prensa.
- Faith, D.P., S. Magallón, A.P. Hendry, E. Conti, T. Yahara y M.J. Donoghue. 2010.»Ecosystem services: An evolutionary perspective on the links between biodiversity and human well-being», en *Current Opinion in Environmental Sustainability*, vol. 2, núm. 1-2, pp. 66-74.



INTRODUCCIÓN



*Elena R. Álvarez-Buylla, César Carrillo Trueba,
León Olivé y Alma Piñeyro Nelson*

El maíz es uno de los principales pilares del patrimonio biológico y cultural de la nación y el pueblo mexicanos. La alimentación del pueblo de México se basa, desde tiempos ancestrales, en el maíz. Este cereal sigue siendo el elemento central de la dieta de gran parte de la población mexicana, a pesar de las transformaciones en la dieta mexicana que ha tendido a sustituir los productos derivados del maíz y otros cultivos como el frijol por productos industrializados que han penetrado en los mercados mexicanos a consecuencia de la globalización. Por esta sola razón es un elemento fundamental de la cultura de los diferentes pueblos que constituyen la nación mexicana. La riqueza de la sociedad mexicana se debe a su diversidad cultural, proveniente en gran medida de la presencia de muchos pueblos que se desarrollaron en el territorio que ahora es México desde hace siglos —bien antes de la Conquista—, con marcadas diferencias regionales, ya que las distintas regiones del país tienen características culturales propias, como se aprecia con toda claridad al comparar el noroeste y el sur o el sureste del país.

Así, el maíz, además de ser central para la alimentación, tiene un enorme valor simbólico para muchos de los pueblos constitutivos de la nación, pues gran parte de sus prácticas sociales, económicas, culturales y religiosas están ligadas a este cultivo. La cosmovisión y la forma de vida de los pueblos indígenas, así como gran cantidad de las prácticas

cotidianas de muchas comunidades rurales y urbanas, también tienen al maíz en un lugar central.

Dicha situación impone como un imperativo ético y político a todo ciudadano el hacer una reflexión profunda que le permita participar en la toma de decisiones y en acciones que tiendan a proteger, preservar y fortalecer ese fundamental patrimonio biocultural que es el maíz. El presente libro ofrece materiales científicos, tanto desde la perspectiva de las ciencias naturales y sociales como de las humanidades, que pueden orientar a cualquier ciudadano para comprender con sólidos fundamentos científicos, pero también éticos y humanísticos, los riesgos que se corren con la introducción de maíz genéticamente modificado o transgénico en nuestro país.

En efecto, en años recientes los funcionarios del Estado mexicano responsables de la toma de decisiones han otorgado permisos para la siembra experimental de variedades de semillas de maíz genéticamente modificadas. Como se demuestra en este libro, hay sólidas razones científicas para considerar que esa siembra llamada experimental introduce riesgos inaceptables desde un punto de vista científico, social y ético, pues constituye una seria amenaza para el patrimonio biocultural del pueblo mexicano. Pero además existen también razones para considerar que esas autorizaciones forman parte de una vía expedita hacia la plena siembra comercial de maíz transgénico en grandes extensiones del territorio nacional, con lo cual el maíz, uno de los principales elementos de nuestro patrimonio biocultural, está en peligro.

Ante esta amenaza, un grupo de investigadores y académicos, en su mayoría miembros de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS), constituida por científicos naturales y sociales, así como por humanistas, conscientes de su deber ético de poner a disposición del público sus conocimientos y los resultados de sus investigaciones, han decidido publicar el presente volumen. En él se provee a la ciudadanía de la información, los conocimientos y los análisis científicos detallados en torno a las consecuencias potenciales y reales de la liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado. Con esta información, los ciudadanos podrán tener los elementos para comprender el problema, participar en los debates e idealmente en la toma de decisiones acerca de cómo enfrentar las medidas que autorizan la siembra, producción y consumo de maíz transgénico, y cómo, en su caso, evitar o disminuir al máximo posible los daños ambientales, sociales y culturales que, como se demuestra en el libro, se desprenden de tales decisiones.

Las tecnologías que se utilizan en la producción de semillas transgénicas de maíz, así como los sistemas de siembra, producción y distribución de maíz genéticamente modificado, forman parte de un tipo novedoso de sistemas de producción de conocimiento y de intervención en la realidad natural y social que surgieron en el siglo XX como consecuencia del desarrollo científico-tecnológico y su superposición con intereses extracientíficos, particularmente los militares y los económicos, que muchos autores han llamado sistemas “tecnocientíficos”. El nombre proviene del hecho de que se trata de un tipo de sistemas técnicos, cuya característica principal es que están constituidos por agentes intencionales que se plantean obtener fines determinados transformando la realidad natural o social, o ambas. Uno de los primeros sistemas tecnocientíficos del siglo XX fue el Proyecto Manhattan, mediante el cual se construyó la bomba atómica. El ejemplo es muy ilustrativo: el interés y los valores dominantes, en ese caso, fueron militares, se trató de la construcción de un arma capaz de matar con una sola acción a miles de personas y devastar grandes extensiones de territorio. Pero al mismo tiempo se trata de sistemas que deben aprovechar el conocimiento científico que esté disponible y sea pertinente para lograr sus fines específicos, a la vez que deben desarrollar, en su seno, el conocimiento científico aún no disponible necesario para lograr los propósitos que se plantean quienes diseñan y en su caso operan el sistema tecnocientífico. Estos sistemas, entonces, están compuestos por grupos de científicos, tecnólogos, administradores y gestores y, por lo general, requieren financiamientos muy fuertes.

La segunda mitad del siglo XX vio crecer, de manera acelerada, muchos sistemas tecnocientíficos en torno de la investigación espacial, nuclear, de nuevos materiales, redes satelitales e informática, así como de biotecnología e ingeniería genética. En muchos casos los valores dominantes, como en el caso del Proyecto Manhattan, son militares, pero en otras ocasiones los intereses y valores que predominan son económicos, es decir, quienes diseñan y operan esos sistemas tecnocientíficos tienen el interés primordial de obtener ganancias económicas, de manera que muchos otros valores, entre ellos los epistémicos —es decir, aquellos en función de los cuales evaluamos las pretensiones de conocimiento y calificamos al conocimiento como tal, como conocimiento—, quedan subordinados a aquellos otros valores (militares o económicos). Y en numerosas ocasiones ocurre lo mismo con otros valores —sociales, ambientales o culturales. Esto es lo que encontramos en el caso de los

sistemas tecnocientíficos cuyo propósito fundamental es promover el uso generalizado de semillas transgénicas de maíz. Su interés central son las ganancias económicas, muy por encima del valor cultural, simbólico y muchas veces religioso que tiene el maíz para muchas culturas, además del valor que tiene en el caso de México para toda su población, como uno de los productos básicos de su alimentación. A esto hay que añadir el valor que tiene la diversidad genética, particularmente el de las variedades nativas de maíz en un país como México que es centro de origen y diversidad de dicha especie.

La mayor parte de los sistemas tecnocientíficos, hasta ahora, de hecho han estado al servicio de los intereses dominantes, principalmente militares, económicos o políticos, pero esto no tiene que ser necesariamente así, es decir, no es intrínseco a los sistemas tecnocientíficos que tengan que estar al servicio de los intereses dominantes de los más poderosos. En la medida en que se trata de sistemas generadores de conocimiento y que transforman la realidad, los sistemas tecnocientíficos bien pueden ser encauzados en un sentido que resulte benéfico para la sociedad en su conjunto y no sólo para élites dominantes. Pero lograr que los sistemas tecnocientíficos operen a favor del interés común de toda la sociedad requiere una participación activa de los ciudadanos para incidir en las políticas públicas que influyen en la forma en que funcionan tales sistemas y en los resultados que se obtienen. En muchos casos, como se demuestra en este libro en relación con los sistemas que producen semillas transgénicas de maíz, lo que está en interés de la sociedad en su conjunto, por razones biológicas, ambientales, agrícolas, económicas, sociales y culturales, es que tales sistemas dejen de operar. Pero eso sólo se logrará en la medida que los ciudadanos ejerzan sus derechos y tengan la capacidad de incidir en las políticas públicas en el terreno alimentario, agrícola, económico, científico-tecnológico y cultural. De ahí la importancia de que la ciudadanía cuente con la información y tenga acceso a los conocimientos y a los argumentos científicos, políticos y éticos que demuestran contundentemente que la liberación de semillas transgénicas de maíz al ambiente es inaceptable por los daños ambientales, sociales y culturales que se derivan de ello. Y esa es la razón por la que se ha escrito este libro y se pone a disposición del público.

Lo anterior constituye el marco en el cual debemos comprender el debate y las controversias que surgen en torno a la siembra de maíz transgénico en México, así como el significado de la aprobación por parte de funcionarios del Estado de las llamadas siembras experimen-

tales y piloto que, como mencionamos antes, constituyen el paso previo a la inminente siembra comercial.

Debido a que el problema de la liberación al ambiente de semillas de maíz genéticamente modificadas presenta una muy amplia diversidad de aristas que van desde aspectos científicos a nivel molecular y genético, a problemas ambientales, agrícolas, legales, económicos, culturales, éticos y epistemológicos, el documento que el lector tiene en sus manos fue elaborado desde una perspectiva multidisciplinaria que aprovecha los conocimientos y las especializaciones de sus diversos autores (biología molecular, antropología, agronomía, economía, derecho, filosofía, ecología, sociología), para explicar cómo la introducción de este tipo de semilla a nuestro país afectará no sólo las prácticas agrícolas existentes y las opciones de los consumidores, sino también, y de manera importante, la economía, la diversidad genética, la bioseguridad y el significado cultural que este grano tiene en su centro de origen y diversidad.

Además de proveer información básica sobre la diversidad actual de maíces nativos en México, qué es y cómo se construye un maíz transgénico, en el libro se abordan los aspectos de la normatividad en bioseguridad con que disponemos en México, y se discuten sus limitaciones, así como el impacto económico y social que el uso de esta tecnología puede tener para la sustentabilidad de la producción maicera en México en diferentes escalas; también se ventilan consideraciones de tipo ético sobre el derecho de quienes son afectados, es decir, prácticamente toda la población, a participar en las decisiones relacionadas con los sistemas tecnocientíficos que inciden en su vida, y se discute la aplicación de un enfoque precautorio en la toma de decisiones. Mediante estos análisis el lector se hará consciente del amplio horizonte de instancias que puede impactar la introducción de maíz transgénico en nuestro país, y contará con elementos para una reflexión seria e informada sobre los impactos que esta biotecnología tendrá en el contexto nacional, en relación con el ambiente, pero también con la economía, la sociedad y la cultura.

Esta obra aborda además los argumentos que, bajo una perspectiva optimista, elaboran extrapolaciones basadas en la experiencia de otros países, así como las simplificaciones en las que diferentes actores —investigadores, empresas, asociaciones civiles— han incurrido con el fin de promover la entrada de dicho tipo de biotecnología en México. Es un libro que proporciona elementos indispensables para que la ciu-

dadanía esté en condiciones apropiadas de comprender y participar en los debates en torno al uso de maíz transgénico y pueda tomar una decisión informada acerca de la conveniencia o no de la introducción en el territorio nacional de este tipo de semillas, más allá de la propaganda que ha circulado en los medios de comunicación masiva en torno a este tema nodal para nuestro país.

Antecedentes de este libro

El antecedente más importante de un trabajo multidisciplinario en donde se hayan abordado las incertidumbres, peligros potenciales y consecuencias de la siembra de maíz transgénico en México es el informe que hizo el grupo de trabajo *ad hoc* convocado por el Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) surgida como parte del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. La CCA se involucró en el debate sobre la introducción de maíz transgénico en México en el año 2002, al dar cabida a una petición ciudadana apoyada por grupos indígenas, campesinos y ONG mexicanas, donde se pedía investigar el impacto que la introducción de este tipo de cultivos podría tener en México, tema que adquirió relevancia pública a partir de la publicación en la revista científica internacional *Nature* de un reporte que mostraba la presencia de transgenes en maíz nativo en la Sierra Norte de Oaxaca (Quist y Chapela, 2001).

En agosto de 2004, la comisión trinacional convocada por el Secretariado de la CCA hizo público un reporte en donde, después de incorporar los análisis multidisciplinarios de especialistas de los tres países de América del Norte (Canadá, Estados Unidos y México), recomendaba, entre otros puntos, mantener la moratoria *de facto* a la siembra en campo de maíz transgénico y triturar el grano de maíz que provenía de Estados Unidos para evitar que éste pudiera usarse en la siembra, ya que más de la mitad del grano producido en este país es transgénico (CCA, 2004; disponible en línea en: www.cec.org/maiz).

Si bien este informe ha sido un referente fundamental en el debate en torno a la introducción de maíz transgénico en nuestro país, fue generado en un periodo cuando en México, a pesar de ser signatario de tratados internacionales como el Protocolo de Cartagena que establecía obligaciones para normar el paso transfronterizo de organismos genéticamente modificados (OGM), no existía un marco jurídico nacional

que regulara el uso de organismos genéticamente modificados, y a nivel nacional e internacional aún eran incipientes las investigaciones sobre el potencial de dispersión de las semillas transgénicas, sus posibles efectos sobre el ambiente y la salud, etcétera. Para mostrar lo reciente de esta normativa baste señalar que la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) no entró en vigor sino hasta mayo de 2005, mientras que las últimas enmiendas al reglamento emanado de ésta se hicieron en marzo de 2009 (ver capítulo 16). En cuanto a las investigaciones científicas que abordan el potencial de dispersión de semilla transgénica de maíz, así como los posibles efectos en la salud por el consumo de este tipo de productos, varias de las publicaciones más relevantes aparecieron apenas en 2009 (ver capítulos 3, 4 y 5).

A partir de la enmienda de 2009 al reglamento emanado de la LBOGM se han otorgado más de 155 permisos para la siembra experimental de diferentes tipos de maíz transgénico en nuestro país. Dichas siembras experimentales se han realizado en parcelas de los estados de Sinaloa, Tamaulipas, Sonora y Chihuahua, bajo el supuesto de que estos estados tienen una mínima diversidad genética de razas nativas de maíz y, por lo tanto, la posibilidad de mezcla de estas razas con líneas transgénicas es mínima. Estas ideas se contraponen claramente a un reciente informe sobre distribución de la diversidad de maíz en México, coordinado por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO), el cual ha puesto de manifiesto que en estas regiones sí existe una importante parte de la diversidad genética de maíz en México (Kato *et al.*, 2009). Dicho informe se publicó después (octubre de 2009) de que se aprobaran (mayo-junio de 2009) las primeras siembras experimentales de maíz transgénico en nuestro país desde que se levantara la moratoria de facto establecida en 1998.

Lo anterior pone de manifiesto que muchas de las decisiones sobre el uso de este tipo de cultivos transgénicos se han tomado, y se siguen tomando, sin la información suficiente, o con base en supuestos que no cuentan con un sólido respaldo científico. En muchas ocasiones se toman de manera precipitada, obedeciendo a determinados intereses, ajenos a los científicos y en función de valores que no se corresponden con el interés común de los mexicanos, ignorando en los hechos, los conceptos de precaución y sustentabilidad.

En julio de 2009 se otorgaron quince permisos más para siembras experimentales de maíz transgénico, en lo que parece ser una estrategia para acelerar lo más posible el paso por las diferentes etapas regulatorias

por las que hay que pasar para sembrar cultivos transgénicos a escala comercial. En consonancia con esta estrategia, en 2011 se otorgó el primer permiso de siembra en modalidad piloto de maíz transgénico para una parcela en el estado de Tamaulipas y en los primeros meses de 2012 se otorgaron tres permisos más bajo tal modalidad. Si se extienden estos cultivos comerciales en amplias partes del territorio nacional, en los hechos será imposible impedir la dispersión de semilla transgénica a lo largo y ancho de nuestro país. Las consecuencias que esto puede tener para la salvaguarda de uno de los cultivos más importantes a nivel nacional e internacional, así como para todos los pueblos que dependemos de este grano para nuestra subsistencia, y que forma parte del núcleo de muchas culturas en México, es el tema de este libro.

Acerca de la estructura

Con el fin de proveer al lector de un panorama amplio en torno a la problemática de la introducción de maíz transgénico en México, el libro comienza presentando información básica sobre la diversidad actual de variedades nativas de maíz en nuestro país, incluyendo su distribución y estado de conservación (capítulo 1), para después entrar de lleno en la explicación sobre qué son, cómo se construyen y qué ofrecen las actuales líneas de maíz transgénico presentes en el mercado (capítulo 2). Los siguientes dos capítulos están enfocados a explicar en qué consisten los fenómenos biológicos del flujo génico y cómo éste y otros procesos moldean la diversidad (agro)biológica, presentando los últimos datos sobre presencia de transgenes en razas nativas de maíz en México (capítulo 3), mientras que el capítulo 4 analiza los riesgos y peligros potenciales que la presencia de maíz transgénico puede generar tanto a niveles subcelulares como ambientales, agroecológicos y humanos. En los siguientes cinco capítulos se abordan las consecuencias que el uso de este tipo de tecnología puede tener en otros ámbitos, que van desde los riesgos a la salud ya documentados, así como riesgos potenciales ocasionados por el consumo de maíz transgénico (capítulo 5), hasta el contexto de la bioeconomía y las políticas públicas en México (capítulo 6), resaltando además la importancia nutricional de este cultivo en la dieta mexicana (capítulo 7), las estrategias pasadas y presentes de bioseguridad y conservación del maíz nativo en México, narrando la modificación de los criterios de bioseguridad (capítulo 8). El capítulo

9 presenta el debate europeo en torno a la introducción de transgénicos en ese continente, reflexionando sobre el papel que la ciencia y la tecnociencia han desempeñado en legitimar esta biotecnología alrededor del mundo. El capítulo 10 aborda consideraciones de tipo ético, así como la utilidad del «principio de precaución» para tomar decisiones en torno al uso de esta biotecnología en México, mientras el capítulo 11 provee de un panorama amplio entorno a las alternativas tecnológicas disponibles para hacer frente a las necesidades de nuestro país en cuanto a producción de maíz, presentando estrategias diversas que operan a diferentes escalas y que permitirían recobrar la soberanía alimentaria en este grano.

Los siguientes cuatro capítulos abordan cómo las políticas públicas, así como la legislación y la percepción social que se han visto impactados por el debate y forcejeo causado por la introducción de maíz transgénico en nuestro país. En este sentido, se presenta un estudio de caso sobre la percepción social de un grupo de agricultores de Oaxaca en cuanto al uso de dicha tecnología (capítulo 12), mientras que en otra contribución se discuten cuáles deberían de ser los lineamientos mínimos necesarios para llevar a cabo el biomonitoreo de la entrada de maíz transgénico al país por parte del Estado mexicano, así como la política global de bioseguridad adecuada para un país que es centro de origen del maíz (capítulo 13). Los siguientes dos capítulos reseñan el entramado legal vigente en el país para la protección de las semillas nativas y mejoradas, donde en años recientes se han propuesto varias modificaciones que minan la protección de estos acervos (capítulo 14), mientras que el siguiente capítulo (15) describe el marco regulatorio existente en el país para la siembra de cultivos transgénicos, apuntando sus alcances y limitaciones, así como la utilización de herramientas jurídicas por parte de diferentes grupos de la sociedad civil para impedir las siembras transgénicas, concluyendo con sugerencias de vías legales adicionales que abonen los esfuerzos de protección del maíz nativo mexicano (capítulo 15). El capítulo 16 resume los diversos modos de siembra y producción de maíz en México y cómo estos se podrían ver afectados ante la siembra de maíz GM en nuestro país. Como complemento de este texto, el capítulo 17 hace un análisis de otras leyes e instrumentos jurídicos que han sido reformulados y que, en mancuerna con la legislación en materia de bioseguridad, se podrían traducir en el despojo del derecho que los campesinos tienen para guardar y manejar de manera autónoma su acervo de semillas.

La sección de conclusiones lleva a cabo una reflexión donde se retoman los puntos nodales de las contribuciones anteriores, haciendo un resumen de los diferentes niveles y contextos en donde la introducción de maíz transgénico a nuestro país resulta problemática, y las alternativas disponibles, para finalizar con una reflexión sobre el conflicto de interés que puede existir por parte de diferentes actores implicados en el desarrollo de este tipo de biotecnologías. Para terminar, se incluye un epílogo donde se hace referencia a estudios muy recientes (2012) que demuestran la persistencia en el ambiente y la transferencia hacia organismos no blanco de secuencias transgénicas.

Este libro constituye el primero de varios estudios de caso que serán integrados por el grupo de investigadores que conforman el Programa Temático de Agricultura y Alimentación de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS).



CAPÍTULO 1 ORIGEN Y DIVERSIDAD DEL MAÍZ



*Ángel Kato, Rafael Ortega Paczka, Eckart Boege,
Ana Wegier, José Antonio Serratos Hernández, Valeria Alavez,
Lev Jardón-Barbolla, Leticia Moyers y Diego Ortega Del Vecchio*

La definición de centros de origen y diversidad genética de las plantas cultivadas tiene gran importancia para su manejo y conservación. Por ello, la determinación de sus componentes geográficos, biológicos y culturales es un proceso complejo que debe ser abordado con una visión interdisciplinaria.

Aunque el concepto propuesto por Vavilov caracteriza los centros de origen de las especies cultivadas como aquellos en donde se encuentra su mayor diversidad, se ha demostrado que un centro de diversidad genética no necesariamente es el centro de origen de una especie domesticada (Harlan, 1971) o de una especie silvestre (Walter y Epperson, 2001). Es importante hacer énfasis en esto porque implica que es necesario utilizar distintas metodologías para la correcta identificación de los centros de origen y los de diversidad genética.

Los conceptos de “centro de origen” y “centro de domesticación”

“Centro de origen” y “centro de domesticación” son conceptos diferentes que no pueden usarse indistintamente. La evolución de las plantas cultivadas involucra dos aspectos por separado: 1) el origen del taxón (silvestre) previo a la domesticación, resultado de procesos evolutivos

como la selección natural en hábitats sin intervención humana, y 2) su origen como cultivo, o dicho de otra manera, la historia de su domesticación moldeada por la influencia humana y la selección artificial. Para los organismos silvestres únicamente aplicaría el primer aspecto evolutivo, en las plantas cultivadas se cumple el segundo aspecto por medio de la selección dirigida por el ser humano.

La domesticación puede ser vista como el resultado final de un proceso que va del manejo de una especie silvestre hasta la fijación de caracteres morfológicos y genéticos, los cuales varían dentro y entre especies, dependiendo de su grado de domesticación, por lo que es posible encontrar plantas semidomesticadas que se encuentran tanto en cultivo como silvestres y pertenecen a la misma especie —por ejemplo, el tomate verde (*Physalis philadelphica*) y el algodón (*Gossypium hirsutum*) (Pickersgill, 2007).

Vavilov y el concepto de centro de origen de las plantas cultivadas

Con base en sus estudios biogeográficos, Nikolai Vavilov introdujo el concepto de “centro de origen de las plantas cultivadas” o, como anteriormente se definió, “centro de domesticación”. De acuerdo a este autor, el “centro de origen de plantas cultivadas” es una zona geográfica en donde se encuentra el máximo de diversidad del cultivo y coexisten o coexistieron sus parientes silvestres. En particular, Vavilov consideró una serie de aspectos clave para determinar la localización geográfica del origen de una planta cultivada: 1) se trata de áreas geográficas en donde la planta se sigue cultivando; 2) se asocian a considerables extensiones de territorio; 3) “los focos primarios del origen de los cultivos se encuentran en las regiones montañosas”; 4) son áreas de concentración de diversidad de las especies; y 5) las áreas de diversidad de las especies y variedades silvestres que están cercanamente emparentadas con la especie en cuestión deben ser empleadas para corregir y complementar el área definida como original (Serratos, 2009; Vavilov, 1926). Asimismo, Vavilov sostenía que los centros de domesticación con frecuencia incluyen un gran número de especies endémicas; en los casos en que el endemismo de un grupo dado es antiguo, éste puede abarcar no solamente variedades de una especie o algunas especies endémicas, sino que se puede ser elevado en los géneros completos de plantas cultivadas. Vavilov también anotó que los

centros de origen de plantas cultivadas son antiguos centros culturales (Vavilov, 1927, 1994 [1931]).

Herramientas para la determinación de los centros de domesticación

Desde la época de Vavilov, hasta los estudios más recientes, ha sido fehaciente la utilidad de los registros arqueológicos, antropológicos y lingüísticos en la comprensión del proceso de domesticación (Vavilov, 1926, 1994 [1931]; Doebley, 2006; Casas *et al.*, 2007; Pickersgill, 2007). Para el estudio y determinación de los Centros de domesticación es necesario un trabajo complementario e interdisciplinario de distintas ramas de la biología, la antropología, la historia y la arqueología (Gómez-Campo, 1999).

Hay tres fenómenos que pueden hacer del estudio de los centros de domesticación una historia más compleja. La domesticación puede ocurrir en periodos de tiempo muy largos y es común que las plantas y los animales tengan una domesticación múltiple, simultánea o continua. Los rasgos relacionados directamente con la domesticación no están condicionados generalmente por mutaciones que conlleven la pérdida de funciones y, por lo tanto, no hay una dependencia completa con el humano (Zeder, 2006; Fuller, 2007; Burger *et al.*, 2008). Éstas son características comunes a los dos centros de domesticación americanos, en los que se ha domesticado el maíz (*Zea mays* L.), el chile (*Capsicum annuum* L.), el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), la calabaza (*Cucurbita pepo* L.), el aguacate (*Persea americana* Mill.), el cacao (*Theobroma cacao* L.), y el algodón (*Gossypium hirsutum* L.) (Pickersgill, 2007). Además es común que los grupos humanos continúen el proceso en jardines de las casas, áreas comunales, en cultivos tradicionales y en varias escalas (Aguilar-Meléndez, *et al.*, 2009).

El uso de las evidencias moleculares

El concepto de centros de origen de las especies domesticadas (De Candolle, 1883; Vavilov, 1926), establece una clara fusión entre la diversidad genética, la distribución geográfica y el origen de una nueva especie cultivada (Engels *et al.*, 2005). Los centros de origen y los centros de domesticación de las especies suelen concentrar y conservar

la mayor parte de la diversidad de un *pool* genético determinado, por ello su conservación tiene un papel fundamental para la subsistencia de la especie (Engels *et al.*, 2005). Sin embargo, ya que la selección no necesariamente comienza con la población más diversa, es posible que reduzca la variación en la población, o bien pueda aumentar la variación de la población en los casos en donde durante el proceso se recolectan variedades de otras poblaciones y se trasladan al sitio donde se realiza la domesticación. Por estas razones las evidencias moleculares no suelen ser suficientes para la determinación de un centro de domesticación.

La domesticación se conoce como el proceso de selección genética que, por medio de la alteración de algún atributo clave, transforma las formas silvestres en variedades domesticadas de cultivos (Salamini *et al.*, 2002). Para reunir evidencias moleculares del proceso de domesticación se hacen comparaciones entre las poblaciones del cultivo, calculando la similitud o distancia genética que existe entre éstas (fracción de alelos distintos). Esto se logra mediante el uso de marcadores moleculares (por ejemplo: microsatélites; *Single Nucleotide Polymorphisms*, SNPs; *Amplified Fragment Length Polymorphisms*, AFLPs), que permiten medir la variabilidad genética de una población, hacer inferencias sobre su distribución, evolución y origen (Hancock, 2004) y establecer las probables relaciones genealógicas entre los haplotipos de la especie (Wu *et al.*, 1998).

Cuando se utilizan marcadores moleculares en conjunción con datos arqueológicos e históricos, el enfoque filogeográfico permite responder preguntas sobre la historia del complejo silvestre-cultivado y distinguir la historia del origen y la domesticación de una especie (Muller *et al.*, 2003). Cada región de distribución presenta un arreglo de frecuencias haplotípicas características, y las diferencias que presenten éstas respecto al de la variedad silvestre permiten rastrear la historia de la domesticación de un cultivo. La presencia de la variedad silvestre brinda la condición necesaria para considerar una región como centro de origen (Li *et al.*, 2004; Martínez-Castillo *et al.*, 2007).

Las aproximaciones de los autores y los marcadores moleculares utilizados son muy variables en este tema, sin embargo, la mayoría de los trabajos analizan los datos de tres formas generales: árboles filogenéticos, redes de haplotipos y algoritmos de asignación genética para probar estructura —como STRUCTURE y STRUCTURAMA (ver Tabla 2.1).

Tabla 2.1. Algunos estudios moleculares en que se ha logrado ubicar el centro de origen o domesticación de algunos cultivos.

Especie	Marcador	Análisis	Resultados	Referencia
Chile <i>Capsicum annuum</i> var. <i>Annuum</i>	Genes nucleares: <i>Dhn</i> , <i>G3pds</i> y <i>Waxy</i> .	Red de Haplotipos Algoritmos de asignación genética para probar estructura Estimadores de diversidad genética	Domesticación múltiple de <i>Capsicum annuum</i> var. <i>annuum</i> en Mesoamérica a partir de poblaciones silvestres de <i>C. annuum</i> var. <i>glabrescens</i> distribuidas ampliamente en México. También se encontró que la Península de Yucatán, anteriormente excluida, es otra región importante de diversidad genética y otro posible centro de domesticación.	Aguiar-Méndez <i>et al.</i> , 2009
Uva <i>Vitis vinifera</i> ssp. <i>Sativa</i>	Microsatélites de cloroplasto	Red de Haplotipos Árbol filogenético (Neighbour joining) Cálculo de distancias genéticas (Gst, Fst)	Sugiere la existencia de al menos dos centros de domesticación europeos: uno en el extremo europeo Oriental y otro en la zona del Mediterráneo Occidental.	Arroyo-García <i>et al.</i> , 2006
Aguacate <i>Persea americana</i> var. <i>guatemalensis</i> , <i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i> y <i>Panamerican</i> var. <i>americana</i>	Genes nucleares: endo-1,4-D-glucanasa (Celulasa), chalcona sintasa (CHS), flavanona-3-hydroxylasa (F3H), y serina-threonina-cinasa (STK)	Algoritmos de asignación genética para probar estructura.	Sur de México y Guatemala (<i>Persea americana</i> var. <i>guatemalensis</i>), México central (<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i>) y las Indias Occidentales (Antillas) (<i>Panamerican</i> var. <i>americana</i>). Las poblaciones del sur de México/Guatemala y las Indias Occidentales están más cercanamente emparentadas entre ellas que con las poblaciones del Centro de México, o cual sugiere que los aguacates de las Indias Orientales se originaron en Guatemala. La hibridación también juega un papel importante en el origen de las razas, por ejemplo, el aguacate Hass es un híbrido entre las razas guatemaltecas y mexicanas.	Chen <i>et al.</i> , 2008
Trigo <i>Triticum monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i>	AFLPs (Amplified fragment length polymorphisms)	Árbol Filogenético Cálculo de distancias genéticas	Un grupo silvestre de la especie <i>Triticum monococcum</i> subsp. <i>boeoticum</i> , proveniente de las montañas Karadag (sureste de Turquía), parece ser el progenitor de las variedades cultivadas de trigo <i>Triticum monococcum</i> subsp. <i>monococcum</i> . Se sugiere que en esta región se inició la domesticación del trigo.	Heun <i>et al.</i> , 1997

Especie	Marcador	Análisis	Resultados	Referencia
Maíz <i>Zea mays</i> ssp. <i>mays</i>	Microsatélites	Filogenético Análisis de Componentes Principales. Algoritmos de asignación genética para probar estructura	Se sugiere un único origen de domesticación del maíz en México, hace aproximadamente 9000 años, las variedades más antiguas, cercanas a ssp. <i>parviglumis</i> se encuentran en las tierras altas del sur de México (Oaxaca) .	Matsuoka <i>et al.</i> , 2002
Papa <i>Solanum tuberosum</i>	AFLPs, (Amplified fragment length polymorphisms)	Árbol Filogenético (Parsimonia y Neighbour joining)	Origen monofilético de los cultivos de papa a partir del complejo silvestre <i>Solanum brevicaulis</i> norteño, en Perú.	Spooner <i>et al.</i> , 2005
Manzana <i>Malus domestica</i>	Gen de Cloroplasto (MatK) y espaciador transcrita interno ribosomal del núcleo	Árbol Filogenético	Se presume que las manzanas silvestres de Asia central están más cercanamente emparentadas con las domesticadas. <i>Malus domestica</i> está más cercanamente emparentada con las manzanas pertenecientes a la serie <i>Malus</i> dentro de la sección <i>Malus</i> del género con el mismo nombre.	Harris <i>et al.</i> , 2002
Calabaza <i>Cucurbita</i> spp.	Intrón del gen mitocondrial Nad1	Árbol Filogenético (Parsimonia, Máxima verosimilitud)	Se sugieren al menos 6 eventos de domesticación independientes: <i>Cucurbita argyosperma</i> probablemente fue domesticada de una calabaza silvestre mexicana <i>Cucurbita sororia</i> , en la misma región del suroeste de México que el maíz. El ancestro silvestre de <i>Cucurbita moschata</i> se desconoce, pero su domesticación probablemente ocurrió al norte de América del Sur. <i>Cucurbita andreana</i> es el progenitor silvestre de <i>Cucurbita maxima</i> , domesticada posiblemente en Bolivia. Se encontraron dos eventos de domesticación separados para el complejo de Cucurbita pepo: el este de EUA y el noreste de México para <i>C. pepo</i> subsp. <i>ovifera</i> , y probablemente el sur de México para <i>C. pepo</i> subsp. <i>pepo</i> cuyo ancestro silvestre se desconoce pero está cercanamente emparentada con <i>C. pepo</i> subsp. <i>fraterna</i> .	Saujour <i>et al.</i> , 2002

Los centros de diversidad genética

El fenotipo de un individuo depende de tres factores: 1) su genotipo, 2) el ambiente (Gillespie, 2004) y 3) los efectos paternales, que dependen de las características ambientales y genéticas de la madre y el padre, (Santure y Spencer, 2006; Wade, 1998; Bayer *et al.*, 2009). La diversidad morfológica presente en un lugar puede servir como indicador de la diversidad genética; de hecho, históricamente fue usada así en la determinación de los centros de origen de la agricultura (Vavilov, 1994 [1931]). La diversidad morfológica presente en un cultivo es relevante también porque el proceso de selección artificial (como todo proceso de selección biológica) ocurre sobre el fenotipo y funge como un indicador fehaciente del proceso de domesticación. Desde muy temprano (Darwin, 1859; Vavilov, 1994 [1931]) se observó que las plantas domesticadas suelen presentar un intervalo de variación morfológica mayor al de las plantas silvestres y alteraciones fenotípicas diversas, como gigantismo en las partes útiles, y alteraciones en la historia de vida, como la pérdida de la capacidad de dormancia en las semillas y una menor capacidad de dispersión por mecanismos naturales (Casas *et al.*, 1996; Zohary, 1999; Casas *et al.*, 2006). De hecho, esas observaciones constituyen el primer capítulo de *El origen de las especies* (1859), en el que Darwin sustenta sus ideas acerca de la selección artificial, dirigida por los humanos.

Todo el proceso de domesticación por medio de la selección artificial está relacionado y mediado por la reproducción cultural de los pueblos que han heredado y continuado la domesticación de las diferentes plantas cultivadas. De esta manera, en los lugares donde el proceso de selección artificial ha operado a partir de una mayor variación morfológica inicial en las poblaciones silvestres y/o durante más tiempo (es decir, en los lugares donde una planta ha sido domesticada) es razonable esperar un mayor grado de variación morfológica en los cultivos, en particular al compararlos con las poblaciones silvestres de la misma planta.

Los centros de diversidad genética pueden homologarse en muchos sentidos con el concepto de “unidades de conservación”, utilizado en genética de la conservación, que tiene como objetivo la preservación de la diversidad genética de poblaciones o grupos de poblaciones (Geist y Kuehn, 2005).

La diversidad genética se define como la variedad de alelos y genotipos presentes en un grupo bajo estudio, el cual puede ser una

población, una especie o un grupo de especies (Frankham, 2002). El establecimiento de las unidades de conservación puede ayudarnos a tomar mejores decisiones para la conservación de la misma. Las unidades de conservación son: “unidades evolutivamente significativas, unidades de manejo o cualquier unidad geográfica que los investigadores consideren importante conservar” (Manel *et al.*, 2003). Las “unidades evolutivamente significativas” (ESU, *evolutionary significant unit*) sirven para establecer grupos de poblaciones que han divergido desde hace bastante tiempo y están diseñadas para ayudar a la conservación de los procesos ecológicos y evolutivos de una especie (Moritz, 1999), para los cuales no hay una definición metodológica única, ya que se han generado críticas y polémica alrededor de ellas (Crandall *et al.*, 2000; Fraser y Bernatchez, 2001; Hey *et al.*, 2003). Una forma de definir una ESU es utilizando el concepto de especie filogenética (Vogler y De Salle, 1994), a partir de un conjunto de individuos o poblaciones que tienen caracteres hereditarios que pueden ser unidos en un *agrupamiento*. Crandall y colaboradores (2000) propusieron otro enfoque para determinar la conservación de las poblaciones, basándose en el intercambio genético y ecológico, tanto reciente como antiguo. Fraser y Bernatchez (2001) agregan que se deben usar varias de estas metodologías cuando sea posible.

Una vez determinadas las ESU, existe otro reto: delimitar las unidades de manejo para la conservación (MU). Básicamente la divergencia y el flujo génico entre las poblaciones es lo que determina que deban manejarse como unidades independientes cuando están suficientemente aisladas para que merezcan ser delimitadas, monitoreadas y manejadas por separado (Palsbøll *et al.*, 2007).

Para inferir las MU se ha propuesto el uso de pruebas de asignación (Pearse y Crandall, 2004, Pritchard *et al.*, 2000, Corander y Tang, 2007) a fin de establecer los *agrupamientos* de poblaciones y la tasa de dispersión y flujo entre éstas (Palsbøll *et al.*, 2007). Después de que se establecen las unidades de conservación, es necesario hacer un monitoreo y análisis de la diversidad genética en cada población por medio de parámetros como la riqueza alélica, la heterocigosis y el coeficiente de consanguinidad, F , lo cual permitirá empezar a tomar decisiones sobre su preservación. La identificación y el mantenimiento de los centros de diversidad genética es importante porque la diversidad genética está relacionada con la adecuación de una población (Reed y Frankham, 2003) y también está ligada al potencial evolutivo de una especie (England *et al.*, 2003).

Origen del maíz y su diversificación inicial

El tema del origen del maíz tiene más de 100 años de controversia y a lo largo de todos estos años se han propuesto varias hipótesis, siendo la de Ascherson de 1895 (en Kato *et al.*, 2009) la más antigua, y en la que se propone que el teocintle es el ancestro directo del maíz. Hacia finales de la década de los treinta del siglo pasado se propuso la hipótesis denominada “tripartita”, desarrollada por Mangelsdorf y Reeves (1939), que tuvo una gran influencia en el medio científico durante más de tres décadas. Hay otras dos hipótesis desarrolladas en las décadas de los ochentas y noventas: a) mediante la teoría de la “transmutación sexual catastrófica” (Iltis, 1983), y b) la de Eubanks (1995), en la cual postula que el maíz fue originado por el cruzamiento de *Zea diploperennis* y *Tripsacum dactyloides*; pero ninguna de ellas ha logrado prevalecer como una teoría aceptada por la mayoría de la comunidad científica.

Por otra parte, con relación a la ubicación de los centros de origen y diversificación, una hipótesis desarrollada por McClintock (1978) y Kato (1984) con base en patrones de distribución de nudos cromosómicos específicos en 5,316 plantas correspondientes a 1,346 colecciones de maíz y 354 plantas de 61 muestras de teocintle de toda América, propone que el maíz fue domesticado en cinco regiones (centro-sur de México y Guatemala en Centroamérica) dentro de lo que se conoce como Mesoamérica. Esta teoría, conocida como multicéntrica, determinó mediante un estudio citológico cinco posibles centros de domesticación (pudieran ser también centros de origen) cuyo germoplasma, por medio de migraciones, hibridaciones y posterior selección en los lugares en que convergen más de dos rutas de esas migraciones, dio origen a un gran número de nuevos tipos raciales, es decir, se diversificaron los maíces domesticados y cultivados en diferentes regiones. De este último proceso se han localizado tres grandes regiones: en el sur de México (Oaxaca-Chiapas-Guatemala), en el occidente (Jalisco-Michoacán-Colima-Guanajuato), y en el norte (Chihuahua-Durango). El origen del maíz fue entonces gradual, formándose primero los precursores más simples por medio de mutaciones puntuales adecuadas para la estructuración del maíz; la combinación progresiva de esas mutaciones llegó a producir, con mayor frecuencia, plantas intermedias de maíz y teocintle que pudieron haber sido identificadas y seleccionadas por los cazadores-recolectores prehistóricos para su domesticación. Con esta información se puede explicar qué

planta dio origen al maíz y en dónde y cómo se pudo haber domesticado y diversificado. Empero, todavía existen aspectos aún desconocidos que será necesario analizar a la luz de las nuevas tecnologías y el estudio de más sitios arqueológicos y etnobotánicos en todo el país.

En 2002, con base en un análisis de 99 *loci* de microsatélites de maíz provenientes de toda América y de plantas de teocintle mexicanas y guatemaltecas, Matsuoka y sus colaboradores postularon que el maíz pudo haber tenido un origen único o monofilético. En esta teoría, conocida como unicéntrica, el teocintle raza Balsas, *Zea mays* ssp. *parviglumis*, es basal en los dendrogramas filogenéticos que publican, y se sugiere que de las poblaciones de esta raza se domesticó el maíz y que no necesariamente fue un solo evento de domesticación. Los estudios de Fukunaga y sus colaboradores (2005) convergen con el anterior, pero utilizan una muestra mayor de teocintle y *Tripsacum* (un género cercano a *Zea*), y concluyen que el maíz y *Zea mays* ssp. *parviglumis* comparten 48% de su genoma, coincidiendo así con la hipótesis anterior. Aún quedan dudas acerca de las relaciones filogenéticas y su discordancia con algunos de los datos morfológicos y arqueológicos; por lo tanto son necesarios más estudios acerca del proceso de domesticación.

No sabemos si las posibles mutaciones en el teocintle fueron las que llamaron la atención de los recolectores de semillas y después ocurrió la domesticación o si el teocintle ya era utilizado por los humanos y fueron éstos quienes seleccionaron artificialmente las variaciones en la cubierta de las semillas y en el desarrollo del olote, hasta conjuntar las características del maíz que hoy conocemos.

En la actualidad el maíz se mueve constantemente de región en región en todo el territorio mexicano (muchas veces a grandes distancias) y aun fuera de él, de tal forma que la constante selección de las semillas para la siembra en ciclos subsecuentes y las migraciones de los granos por medio del intercambio comunitario y comercial de las semillas mantienen la diversidad de la especie y sus variedades. No es de extrañar que muchas veces la variación genética al interior de las razas sea igual o mayor a la que existe entre ellas.

Por los estudios recientes que se han llevado a cabo bajo los auspicios de CONABIO podemos concluir que prácticamente todo el país es un continuo de diversidad. En todas las regiones del país hay una actividad constante de generación de variación genética en las poblaciones de maíz que se cultivan, y aunque hay regiones de las cuales no se tienen muestras

recolectadas, esto podría deberse a que las comunicaciones hacia y desde esas regiones aún son muy malas y no ha sido posible llevarlas a cabo, y no a la falta de maíz en esos lugares, o bien porque son regiones desérticas en las que no existe o es muy escaso el cultivo de esta planta.

Diversidad cultural y razas de maíz

La Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas (CDI-PNUD 2006) reconoce, a partir del Censo General de Población y Vivienda (INEGI 2000), las regiones indígenas como aquellas que se conforman por municipios con 40% o más de población indígena, y describe a los municipios con “presencia indígena” cuando presentan menos de 40%. Así, tenemos 25 regiones con un total de 655 municipios, en donde viven más de 6 millones de indígenas. En estas regiones además se encuentran 190 municipios que tienen “presencia indígena”, es decir una población de más de 5,000 habitantes indígenas por unidad, que en su conjunto representan 3.2 millones de habitantes que viven en esas comunidades, esto es 32% de la población indígena del país. Las 25 regiones constituidas por municipios indígenas y aquellas con “presencia” contienen espacios de mayor densidad de población indígena e indudablemente conforman *territorios* de los pueblos indígenas más allá de los límites municipales y estatales (Boege 2008).

El Censo General de Población y Vivienda realizado en el año 2000 (INEGI 2000) considera 48,196 localidades que presentan un hablante o más de lengua indígena. Si tomamos en cuenta los hogares en donde uno de los cónyuges o sus ascendientes habla lengua indígena, tenemos 23,084 localidades que tienen 40% y más de presencia de población indígena (Serrano *et al.*, 2002). Los territorios actuales de los pueblos indígenas se configuraron con base en esta información y tomando en cuenta las siguientes variables: 1) la contigüidad de las localidades que comparten la condición de tener 40% y más de hogares indígenas; 2) su ubicación dentro de las poligonales de los núcleos agrarios sin importar su carácter ejidal o comunal, que corresponden a 21,080,248 hectáreas, y el resto es propiedad privada. Con esta metodología se logró ubicar de manera general los límites de los territorios de cada pueblo indígena, los cuales tienen una extensión total de 28,033,093 hectáreas, lo que representa 14.3 % del territorio nacional (ver Mapa 2.1 y Tabla 2.2).

Tabla 2.2. Los territorios actuales de los pueblos indígenas (Boege 2008)

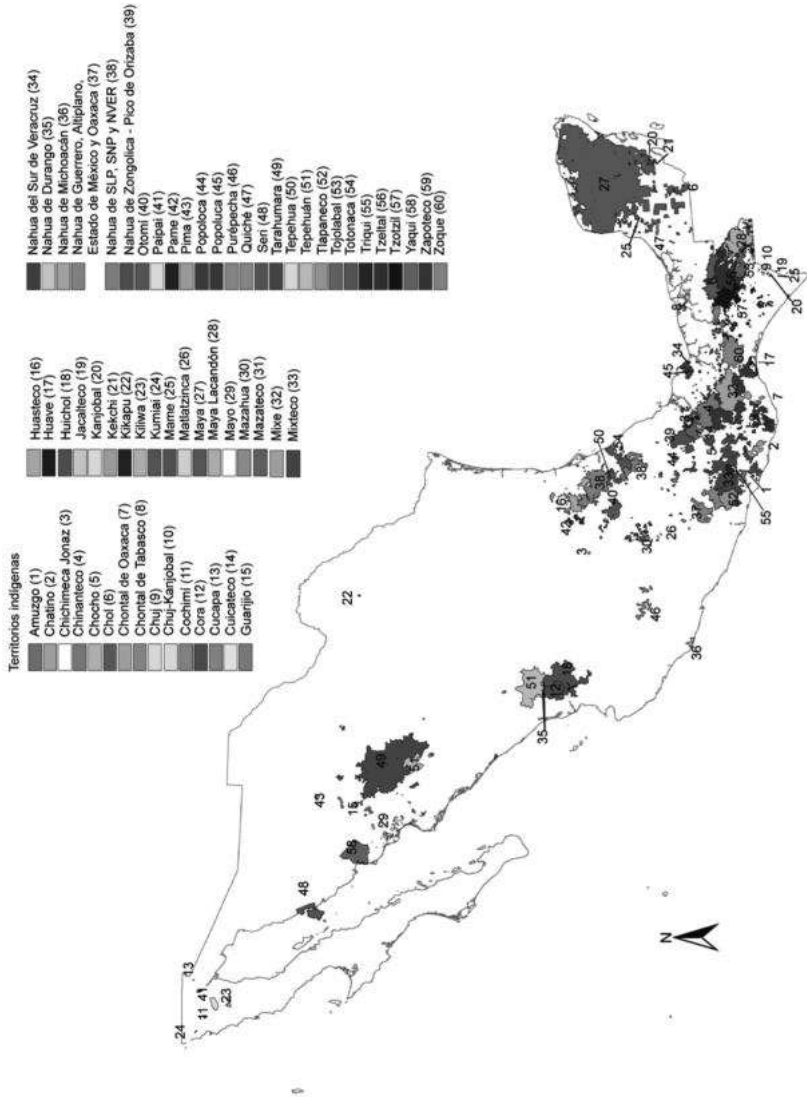
Pueblo indígena	Numero de ejidos y bienes comunales completos	Superficie de ejidos o bienes comunales (ha)	Superficie no ejidal y/o fracción de ejido o bienes comunales (ha)	Superficie total de territorios indígenas (ha)
Maya	1,019	5,343,576	2,097,278	7,440,854
Tarahumara	147	2,296,183	351,189	2,647,372
Mixteco	351	1,433,276	267,520	1,700,796
Zapoteco	276	1,302,777	471,053	1,773,830
Tepehuán	28	1,043,235	139,301	1,182,536
Tzeltal	309	690,080	234,694	924,774
Huichol	48	633,621	199,330	832,951
Zoque	106	621,857	56,808	678,665
Chol	316	564,518	227,816	792,334
Mixe	103	541,162	139,883	681,045
Nahua gro, altiplano, edomex, Oax	160	517,769	146,044	663,813
Nahua slp, snp, nver	865	499,624	448,079	947,703
Maya lacandón	24	488,704	1,370	490,074
Tzotzil	345	489,748	284,575	774,323
Chinanteco	269	462,390	189,090	651,480
Yaqui	2	430,223	19,097	449,320
Cora	13	352,286	14,761	367,047
Tlapaneco	51	281,176	13,253	294,429
Otomí	262	254,485	234,142	488,627
Mayo	81	224,228	96,896	321,124
Chatino	19	202,546	20,531	223,077

Tabla 2.2. Los territorios actuales de los pueblos indígenas (Boege 2008).

Pueblo indígena	Numero de ejidos y bienes comunales completos	Superficie de ejidos o bienes comunales (ha)	Superficie no ejidal y/o fracción de ejido o bienes comunales (ha)	Superficie total de territorios indígenas (ha)
Tojolabal	114	184,810	45,824	230,634
Huasteco	245	170,395	80,317	250,712
Nahua zongolica-pico de Orizaba	108	148,430	200,558	348,988
Cucapa	8	146,521	8,811	155,332
Amuzgo	22	131,093	25,053	156,146
Purhépecha	47	128,548	87,496	216,044
Chontal de oaxaca	16	126,644	9,289	135,933
Seri	1	118,656	93,566	212,222
Mazateco	112	112,748	202,506	315,254
Totonaca	136	99,902	214,046	313,948
Cuicateco	31	94,212	10,102	104,314
Pame	11	93,367	11,112	104,479
Popoluca	81	91,772	18,047	109,819
Mazahua	129	86,285	39,606	125,891
Paipai	1	68,326	-	68,326
Huave	5	67,184	39,695	106,879
Nahua del sur de veracruz	45	64,806	31,487	96,293
Nahua de michoacán	1	56,159	20,059	76,218
Guarjito	8	52,250	30,764	83,014
Triqui	20	51,734	4,556	56,290

Pueblo indígena	Numero de ejidos y bienes comunales completos	Superficie de ejidos o bienes comunales (ha)	Superficie no ejidal y/o fracción de ejido o bienes comunales (ha)	Superficie total de territorios indígenas (ha)
Pima	3	43,064	10,703	53,767
Chontal de tabasco	39	40,364	39,042	79,406
Quiché	3	31,369	1,045	32,414
Popoloca	19	29,692	12,580	42,272
Nahua de durango	4	29,529	7,053	36,582
Kiliwa	1	27,546	11	27,557
Kanjobal	25	23,401	7,631	31,032
Pápago	1	16,660	-	16,660
Mame	10	14,644	21,152	35,796
Ixil	3	14,444	-	14,444
Chocho	5	8,136	3,610	11,746
Kikapu	1	6,937	103	7,040
Cochimi	1	6,466	1,133	7,599
Tepelhua	11	4,115	4,912	9,027
Jacalteco	1	3,777	-	3,777
Chichimeca jonaz	3	3,654	742	4,396
Nahua	8	3,539	10	3,549
Kumiai	1	1,774	5,829	7,603
Matlatzinka	2	1,675	2,396	4,071
Chuj	2	1,216	5,877	7,093
Chuj-kanjobal	1	683	-	683
Kekchi	2	257	3,412	3,669
	6,081	21,080,248	6,952,845	28,033,093

Figura 2.1 Mapa de los territorios de los pueblos indígenas actuales de México.



El INEGI reconoce 62 lenguas indígenas en la República Mexicana (De la Vega, 2001). Para clasificar desde el punto de vista lingüístico a los pueblos indígenas, el Instituto Nacional de Lenguas Indígenas (INALI) ha realizado un trabajo minucioso con los siguientes criterios: 1) once familias lingüísticas; 2) 68 agrupaciones lingüísticas, y; 3) 364 variantes lingüísticas que deberían denominarse lenguas (INALI, 2007). Esta información nos muestra una riqueza cultural extraordinaria que coloca a México entre los 10 países con mayor diversidad lingüística del mundo. Para el nivel de análisis propuesto en este capítulo el criterio de lengua que usa el INEGI es insuficiente.

Como país de origen de 15.4% de las especies que compone el sistema alimentario mundial (CONABIO 2006), México tiene la responsabilidad específica de ser depositario y custodio *in situ* de las líneas genéticas originales de esta agrobiodiversidad, mismas que se cultivan y preservan en los territorios de los pueblos indígenas y en las comunidades agrarias (la tabla 2.2, muestra las especies de importancia económica domesticadas en Mesoamérica).

Los “centros Vavilov”, reconocidos como laboratorios vivos, fueron definidos por el propio Vavilov (1927) como refugios irremplazables de biodiversidad y esenciales para los sistemas alimentarios humanos; no sólo se refieren a un hecho histórico, el paso de las plantas silvestres a las domesticadas, sino a la constante interacción de éstas con sus pares silvestres, semisilvestres y con los ecosistemas, así como al proceso de diversificación y variación fenotípica que está presente ininterrumpidamente, como ocurre en el caso del maíz en México.

En cada territorio de los pueblos indígenas y en las comunidades campesinas encontramos razas de maíz y distintas variedades adaptadas a las condiciones ecológicas específicas. Se considera que esta diferenciación morfológica entre distintas razas de maíces está relacionada con la variación ecológica (Hernández X., 1987) y la cultura de los pueblos indígenas.

Es importante señalar que las estimaciones realizadas a partir de los datos del INEGI son conservadoras con respecto de la población indígena de México y la superficie territorial en la que se desarrollan como pueblos indígenas. Esto se debe a que el criterio lingüístico para definir a los pueblos indígenas es limitado. El Acuerdo 169 de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), retomado en los Acuerdos de San Andrés Sakamch'en, establece como criterio para definir a los

pueblos indígenas la propia reivindicación de tal identidad,¹ criterio respaldado en 1996, 1999 y 2001 por los propios pueblos indígenas en diferentes ejercicios de consulta directa. De lo anterior se desprende una definición de pueblos indígenas más amplia, una población numéricamente mayor y una extensión territorial mayor a la que el solo criterio lingüístico permite reconocer. Esto es importante porque para efectos de ubicar el área geográfica en la que se da el proceso de selección y creación de diversidad en los cultivos, la extensión delimitada a partir de los datos del INEGI representaría un *área mínima* en la que se encuentran estos laboratorios vivientes. Sin embargo, el área en la que el proceso de diversificación de los cultivos y en particular del maíz ocurre es mayor. Existen regiones del país en las que, aun cuando un porcentaje reducido de la población habla una lengua indígena, pueden llevarse a cabo prácticas y costumbres agrícolas propias de un pueblo indígena, o bien en la que un grupo de hablantes del castellano se reconoce como parte de un pueblo indígena. Para efectos del proceso de creación de diversidad de un cultivo, el criterio del Convenio 169 de la OIT puede resultar tan significativo como la presencia mayoritaria de la lengua. En consecuencia, se debe discutir el significado de esta *área mínima* en la que las variedades de maíz de México se desarrollan y se conservan en un proceso dinámico.

¹ Convenio 169 de la OIT:

Artículo 1

1. El presente Convenio se aplica:

- a) a los pueblos tribales en países independientes, cuyas condiciones sociales, culturales y económicas les distingan de otros sectores de la colectividad nacional, y que estén *regidos total o parcialmente por sus propias costumbres o tradiciones* o por una legislación especial;
- b) a los pueblos en países independientes, considerados indígenas por el hecho de descender de poblaciones que habitaban en el país o en una región geográfica a la que pertenece el país en la época de la conquista o la colonización o del establecimiento de las actuales fronteras estatales y que, cualquiera que sea su situación jurídica, conservan todas sus propias instituciones sociales, económicas, culturales y políticas, *o parte de ellas*.

2. La conciencia de su identidad indígena o tribal deberá considerarse un criterio fundamental para determinar los grupos a los que se aplican las disposiciones del presente Convenio.

Las cursivas son nuestras.

Fuente: Comisión Nacional para el desarrollo de los Pueblos Indígenas, 2003. Convenio 169 de la OIT sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes. *Cuadernos de Legislación Indígena*. México, D.F. 2003.

Como cultivo universal y emblemático para México, el maíz es uno de los cereales más importantes para la alimentación humana, y es considerado como “el gran regalo de Mesoamérica para el mundo” (Tabla, 1995). Según datos del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y Trigo (CIMMYT), en México y el resto de América Latina los maíces indígenas son cultivados en 54 % de la superficie destinada a este cereal.

Los sistemas agrícolas indígenas abarcan alrededor de 3 millones de hectáreas, son la abrumadora mayoría agricultura de temporal, y 40% de sus suelos presentan una inclinación mayor a los 10 grados (ver Tabla 2.3).

En México existe aún esta gran riqueza genética del maíz gracias a que cientos de variedades nativas o indígenas se siguen sembrando por razones culturales, sociales, técnicas y económicas. En la medida que se van depurando las técnicas para identificar las razas de maíz y sistematizando las colectas, se ha ido consolidando la lista de razas de maíz mexicano (Tabla 2.4), y consensuando nombres para razas similares de regiones diferentes (Mijangos, 2005).

El fitomejoramiento campesino e indígena es un proceso colectivo que incorpora varios elementos que tal vez no se dan en una parcela pero sí en otra. El intercambio regional o extra regional del germoplasma es una constante: el campesino indígena prueba, ensaya y adopta o descarta el germoplasma nuevo. Sabe separar muy bien las variedades de germoplasma de una misma especie, de tal manera que puede mantener las variedades sin que se crucen o viceversa, fomentando su cruzamiento. Es así como se genera un grupo de variedades de una misma especie adaptadas a cada uno de los problemas ambientales. En el caso del maíz en muchas de las regiones del país existen variedades precoces para aprovechar al máximo la humedad allí donde se presentan tiempos de sequía alternados con mucha lluvia, o bien para evitar las heladas o para acomodarse a secuencia de cultivos. Asimismo, existen variedades de ciclo largo de mejor productividad, que se cultivan para asegurar buenas cosechas cuando el ciclo de cultivo es favorable.

El proceso de diversificación sigue vivo, lo cual es muestra de la importancia de una estrategia nacional para conservar la diversidad del maíz *in situ*, ya que no sólo es importante el germoplasma sino también la preservación de los ecosistemas con sus interacciones bióticas y abióticas y la gente que les da sustento.

Tabla 2.3. Importancia económica de las especies anuales y perennes domesticadas principalmente en Mesoamérica por los pueblos indígenas de México (Molina y Córdova 2006)

Cultivo Nombre común	Nombre científico	Superficie cosechada (ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción en miles de pesos
Anuales				
Algodón Hueso	<i>Gossypium hirsutum L.</i>	60,634	209,360	1 230,959
Amaranto	<i>Amaranthus hypochoeriacus L.</i>	1,435	2,321	13,052
Cacahuete	<i>Arachis hypogaea L.</i>	50,222	91,916	428,076
Calabaza 1	<i>Cucurbita pepo</i>	30,841	461,967	1,466,394
Calabaza 2	<i>Cucurbita pepo L.</i>	16,992	85,792	335,349
Camote	<i>Ipomoea batata L.</i>	2,602	61,739	171,168
Chayote	<i>Sechium edule (Jacq.)</i>	1,532	95,957	172,103
Chia	<i>Salvia hispánica L.</i>	300	900	2,430
Chilacayote	<i>Cucurbita ficifolia B.</i>	301	4,706	14,200
Chile verde	<i>Capsicum frutescens</i>	86,719	1,368,259	5,243,732
Chile seco	<i>Capsicum frutescens</i>	56,173	82,022	2,166,075
Epazote	<i>Chenopodium ambrosioides L.</i>	139	1,230	3,993
Frijol	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1,904,100	1,414,903	7,183,875
Frijol en ejote	<i>Phaseolus vulgaris</i>	9,664	96,387	336,136
Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	232	203	12,377
Guaje verdura	<i>Leucaena leucocephala</i>	30	750	450
Huauzonfle	<i>Chenopodium berlandieri Moq.</i>	170	2,007	5,017
Jícama	<i>Pachyrhizus erosus (L.)</i>	6,175	166,880	314,367
Maíz en elote	<i>Zea mays (L.)</i>	43,227	503,407	618,180

Tabla 2.3. Importancia económica de las especies anuales y perennes domesticadas principalmente en Mesoamérica por los pueblos indígenas de México (Molina y Córdoba 2006)

Cultivo Nombre común	Nombre científico	Superficie cosechada (ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción en miles de pesos
Maíz Forrajero verde	<i>Zea mays</i> (L.)	290,419	8,880,267	2,473,668
Maíz grano	<i>Zea mays</i> (L.)	7,522,055	20,703,161	33,499,849
Noche buena (plantas)	<i>Euphorbia pulcherrima</i>	13	650,000	19,500
Pápalo	<i>Parophyllium macrocephalum</i>	440	5,362	13,554
Quelite	<i>Amaranthus cruentus</i> L.	71	570	1,324
Romerito	<i>Suaeda torreyana</i> Wats	586	5,011	24,189
Tabaco	<i>Nicotiana rustica</i> L.	12,217	22,437	411,164
Tomate verde	<i>Physalis philadelphica</i> Lam	54,044	726,218	2,059,331
Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i> L.	682	8,352	28,527
Yuca alimenticia	<i>Manihot esculenta</i> Crantz	991	13,008	28,678
Cempoxuchitl (flor)	<i>Tagetes erecta</i> L.	1,999	22,243	38,586
Perennes				
Achiote	<i>Bixa orellana</i> L.	958	667	5,950
Agave mezcal	<i>Agave angustifolia</i>	4,720	302,060	955,720
Agave tequilero	<i>Agave tequilaza</i> Wever	3,943	435,779	3,254,408
Aguacate Hass	<i>Persea americana</i> Hill	84,483	831,238	5,020,954
Anona	<i>Annona reticulata</i> L.	13	48	38
Arrayan	<i>Psidium sartorianum</i>	10	35	105
Cacao	<i>Theobroma cacao</i> L.	80,903	49,965	845,412
Capulín	<i>Prunus serotina</i> Eheb.	78	293	774

Cultivo Nombre común	Nombre científico	Superficie cosechada (ha)	Producción (Ton)	Valor de la producción en miles de pesos
Chirimoya	<i>Anona chirimoya</i> Mill	68	4,433	1,728
Cirueta tropical	<i>Spodias purpurea</i> , <i>S. Bombin</i>	12,407	56,535	162,058
Guaje	<i>Leucaena leucocephala</i>	381	3,947	10,714
Guanábana	<i>Annona muricata</i> L.	1,672	11,386	47,868
Henequén	<i>Agave foucroyedea</i> Lam.	16,461	107,106	311,722
Jojoba	<i>Simmondsia chinensis</i>	310	279	5,022
Magüey pulquero	<i>Agave spp</i>	2,233	229,015	487,907
Mamey	<i>Pouteria zapota</i>	742	6,670	28,961
Nanche	<i>Birsonima crassifolia</i> L. HBK	1,848	9,457	29,301
Nopal forrajero	<i>Opuntia spp</i>	2,244	46,557	15,993
Nopalitos	<i>Opuntia ficus indica</i> L. Mill	9,579	563,443	1,272,805
Papaya	<i>Carica papaya</i>	18,656	729,080	2,093,788
Pitahaya	<i>Stenocereus queretrensis</i>	944	1,680	12,095
Tejocote	<i>Crotaegus pubescens</i>	655	3,734	8,657
Tomate (jitomate)	<i>Lycopersicon esculentum</i>	48,317	1,498,572	5,917,197
Tuna	<i>Opuntia Picus indica</i>	38,365	332,168	458,583
Vainilla	<i>Vanilla planifolia</i>	575	177	21,760
Zapote chicozapote	<i>Manilkara zapota</i> L.	1,547	14,366	30,766
Zapote Negro	<i>Diospyros degyna</i>	97	588	842
Totales anuales		10487214	10,487,214	40,926,613

Fuente: Servicio de Información y Estadística Agroalimentaria y Pesquera. SAGARPA 2005

Tabla 2.4. Inventario de razas de maíz en México, según diversos investigadores (Boege 2008)

Autor	Razas identificadas
Wellhausen <i>et al.</i> , (1951)	25 razas y siete por definir
Hernández y Alanís (1970)	Agregan cinco más
Proyecto LAMP (1991)	65 razas
Taba (1995)	41 razas
Sánchez <i>et al.</i> , (2000)	59 razas
CONABIO (2006)	62 razas
Ortega <i>et al.</i> , (1991)	41 razas

En México se localizan los centros de origen del maíz y en todo el país se siguen llevando a cabo procesos de diversificación, en procesos dinámicos actuales de desarrollo *de facto*. El germoplasma de maíz es mantenido por 80% de los productores, y puede considerarse como reserva genética de la especie; las parcelas en que crece ese germoplasma son los laboratorios genéticos de larga duración. Los pueblos indígenas y campesinos de México tienen casi 100% de todas las razas de maíz que se han colectado en el país (Tabla 2.4).

Conservación *ex situ* e *in situ* de maíces nativos de México

Ortega Paczka (2003b) hace la siguiente síntesis del proceso de recolección y sistematización de los maíces indígenas de México. Desde la década de los treinta y hasta 1950, la Secretaría de Agricultura, por medio de la Dirección de Campos Experimentales y el Instituto de Investigaciones Agrícolas, llevó a cabo colectas de poblaciones nativas que se constituyeron en los antecedentes directos de muchos maíces mejorados mexicanos. Esta experiencia no fue documentada y las colecciones se perdieron. No fue sino hasta la década de los cuarentas, con la intervención de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y la Oficina de Estudios Especiales en México, cuando se formaron las valiosas colecciones que ahora se encuentran depositadas en el INIFAP y el CIMMYT. Esta colecta dio origen a la obra clásica “Las Razas de Maíz en México” (Wellhausen *et al.*, 1951).

Después de una intensa actividad de colecta se fue perdiendo el interés porque se consideraba que había suficientes muestras que conservaban lo esencial de la diversidad. Sin embargo, en los años setentas se produjo un serio revés a la agricultura industrializada en los Estados Unidos, ya que los híbridos en Texas desarrollaron una gran susceptibilidad al hongo *Helminthosporium maydis* raza T, que puso en grave riesgo la producción de maíz en ese país. Como consecuencia del ataque del *Helminthosporium*, la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos estableció un comité para el estudio de la vulnerabilidad genética del cultivo, que llevó a decidir que se debía elaborar un programa de conservación de la diversidad de plantas cultivadas. El comité encontró además que la diversidad genética de muchos de los cultivos importantes en ese país era peligrosamente estrecha, por lo que se retomó el tema de la erosión genética y la vulnerabilidad de los cultivos, renovando así el interés hacia los maíces nativos y la experiencia acumulada durante siglos de los fitomejoradores indígenas y campesinos, que enfrentaron las situaciones climáticas y de suelo extremas en que se encuentra la mayoría de la agricultura de temporal mexicana (Muñoz, 2003). La agricultura campesina e indígena especializa su germoplasma en las pequeñas diferencias de suelo, clima y ubicación de la parcela, mientras que el fitomejoramiento comercial no atiende más que las grandes extensiones de terreros altamente rentables.

Podemos estimar que la distribución de las variedades indígenas de maíz en toda la república se mantuvo intacta como conservación *in situ*, hasta la introducción de semilla híbrida producida por los programas nacionales de mejoramiento, influidos por la trayectoria tecnológica de la agricultura industrial que se consolidó en Estados Unidos en la década de los años sesentas del siglo pasado. Bajo ese esquema se generaron variedades híbridas muy productivas y uniformes para satisfacer las necesidades de una producción a gran escala en forma de monocultivo en las mejores tierras. Los rendimientos se incrementaron a partir de una inversión intensiva de energía fósil e insumos externos, y en esa fase la investigación fitogenética comenzó a cobrar interés público y privado. En consecuencia, la gran mayoría de los maíces nativos quedó marginada del fitomejoramiento nacional, prevaleciendo en los campos de cultivo de los pueblos indígenas y campesinos como conservación *in situ*, esto es, en más de 75% del territorio nacional.

Son cuatro factores los que han contribuido a la amplia diversidad de maíces en México: 1) las razas nativas que en otros países se encuen-

tran disminuidas, en México existen como variedades vivas, interactuando con todo tipo de maíz; 2) desde tiempos prehistóricos, las variedades de maíz se vieron enriquecidas con las de América del Sur y viceversa; 3) los teocintles se cruzan con el maíz, y por medio de introgresión se han introducido nuevas características al maíz, incluso hay reportes de que algunos pueblos indígenas han sembrado teocintle en la milpa para mejorar su maíz (Lumholtz, 1918); y 4) el aislamiento geográfico y las distintas culturas de México favorecen la rápida diferenciación, pues poseen varias clases de factores aislantes (Wellhausen *et al.*, 1987).

Las ventajas que tienen los maíces indígenas, después de un tiempo considerable de adaptación a diferentes alturas sobre el nivel del mar, a los distintos regímenes climáticos y sus variantes —precipitación y temperatura—, son las siguientes: a) rusticidad, que se refiere al manejo campesino que no requiere procesos complejos de hibridación y que además es tolerante a diversas situaciones ambientales adversas; b) rendimiento en condiciones adversas (véase más abajo la tabla de adaptación a la altitud y a los distintos regímenes de lluvia); c) desarrollo de múltiples variedades para usos específicos; d) tolerancia a plagas y enfermedades; e) tolerancia al acame de algunas variedades de maíz; f) variedades con alta calidad de proteína, alto contenido de aceite en el germen, resistencia a plagas de postcosecha y a enfermedades del follaje, raíz y mazorca, adaptación a hiperacidez e hiperalcalinidad del suelo; g) relaciones asociativas con microorganismos para la fijación de nitrógeno y accesibilidad del fósforo (Antonio Turrent, comunicación personal).

Considerando que en los territorios de los pueblos indígenas y en las comunidades campesinas no indígenas sigue existiendo una gran riqueza genética de maíz, que los pueblos indígenas y las comunidades campesinas con sus agroecosistemas tradicionales tienen los reservorios de germoplasma mesoamericano más importantes del país y del mundo, cuyo valor no es reconocido por la sociedad en su conjunto, y que este patrimonio representa los recursos biológicos colectivos de los pueblos indígenas clave para la conservación *in situ* y el desarrollo del país, se desprenden tres conclusiones de importancia vital para México:

- 1) La conservación *in situ* de los maíces indígenas no sólo responde a la necesidad de enfrentar con este acervo genético situaciones adversas actuales y futuras para el sistema alimentario nacional y mundial (por ejemplo: la generación de nuevas plagas y la resistencia de las existentes), sino que los maíces están adap-

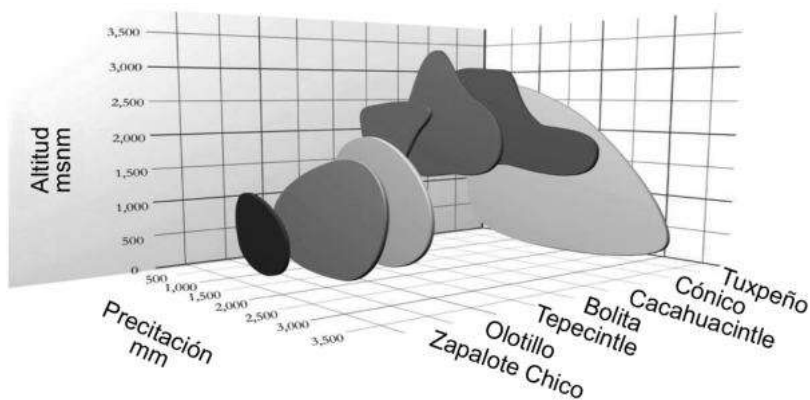
tados a condiciones ambientales desfavorables que se podrían intensificar con el cambio climático global.

- 2) Las tradiciones y el conocimiento de los pueblos indígenas radican principalmente en la cultura del maíz. La diversidad de las variedades de los maíces indígenas se refleja en el gusto culinario popular (colores, textura, sabor, usos, etcétera).
- 3) Es fundamental reconocer los recursos genéticos, los saberes y los conocimientos sobre el maíz y la agrobiodiversidad para la supervivencia de los pueblos indígenas, la autosuficiencia alimentaria, y la soberanía nacional (Ortega, 2003b).

Gran parte de los acervos de germoplasma han sido evaluados desde el punto de vista agronómico, sin embargo, por la estructura y diseño de las investigaciones no se cuenta con catálogos descriptivos de las muestras individuales (Muñoz, 2003). Los fitomejoradores indígenas tienen otros criterios de selección como el cultural o el ceremonial, diferentes a los que utilizan las empresas semilleras o los centros de investigación, empeñados en mejorar el rendimiento y la dependencia comercial hacia ellos. La superioridad de las variedades nativas se debe a los siguientes criterios: a) es más probable encontrar estas variedades adaptadas a las condiciones de “nicho”; b) han tenido lugar en largos periodos de selección y bajo la acción de varias generaciones de fitomejoradores tradicionales (son estables); c) la selección es concordante con la problemática del “nicho”, las necesidades y cultura de los productores; d) se ejerce la selección en amplias poblaciones de plantas y sus mazorcas (mantiene la variación); e) la selección se basa en caracteres de heredabilidad amplia; f) la valoración visual es simple y confiable; g) los colores de la semilla son indicadores adecuados del grado de madurez de la planta (precozes o tardíos); h) la selección se lleva a cabo por medio de varios criterios simultáneamente; i) los caracteres asociados a los criterios de selección conllevan un ajuste constante de los genes modificadores; j) la selección incluye preferencias de género con la participación activa de las mujeres, destacando las preferencias culinarias. La eficiencia de los métodos enlistados resulta muy impactante si se consideran las situaciones adversas bajo las cuales han desarrollado el maíz (ver Figura 2.2).

Ortega (2010) destaca la necesidad de tener claridad en la naturaleza del tema que se aborda, por lo que su contribución se inicia con un capítulo sobre conceptos que consideraron conveniente describir. Si

Figura 2.2. Adaptación de las variedades de maíces indígenas a condiciones climáticas y alturas contrastantes.



Fuente: Boege, 2008.

bien la conservación *in situ* de los maíces nativos de México es resultado de las decisiones y acciones de los agricultores de este grano básico, los curadores de los bancos de germoplasma, los fitomejoradores, etnobotánicos y otros profesionistas deben desempeñar un papel proactivo en los proyectos de este tipo. Se destaca que en la conservación *in situ* lo importante es mantener los procesos de selección de semilla por parte de los agricultores, ya que ellos pueden cambiar los maíces que cultivan. En consecuencia, los proyectos de conservación *in situ* deben formar parte de programas de desarrollo rural, pues no se trata de congelar el desarrollo de las comunidades rurales para conservar los recursos fitogenéticos que poseen, sino de integrarlos a las actividades comunitarias. Es necesario asegurar la correspondencia con los objetivos del Convenio de Diversidad Biológica y del Tratado Internacional de Recursos Fitogenéticos (aunque este último no está suscrito por México), y apoyar los proyectos de este tipo considerando en forma equilibrada la conservación de los recursos fitogenéticos, su uso sostenible y el reparto equitativo de beneficios derivados de su uso.

Asimismo, Ortega (2010) abordan lo relativo a la elección de regiones, comunidades y agricultores para iniciar o continuar trabajos de investigación, ya que es de suma importancia contar con criterios adecuados para su correcta selección. Se dan a conocer otras expe-

riencias en diversos temas que son prioritarios para la conservación de germoplasma, entre ellos la organización de ferias de semillas, la exploración y colecta etnobotánica de la diversidad de maíz y especies útiles en la milpa, estudios de flujo de semillas y caracterización morfológica. Al tratar otros aspectos de la diversidad encontrada, se analizan las evaluaciones por parte de agricultores en experimentos formales y en lotes demostrativos de diversidad, así como la promoción del uso de poblaciones superiores que incluye la producción y distribución de semillas, la promoción del uso de mejoras en el manejo agronómico de los cultivos de maíz y su manejo postcosecha, y la organización y el funcionamiento de bancos locales de semilla. Por otra parte, se ilustra la utilización de varias técnicas en pruebas para el mejoramiento participativo, la identificación de los problemas en la conservación *in situ* originados por el mercado, factores ambientales y culturales y la necesidad de agregar valor a la producción campesina e incentivar la cultura del maíz nativo y su desarrollo.

Los bancos de germoplasma (conservación *ex situ*) juegan un papel fundamental en la conservación de la diversidad de maíces nativos colectados en los proyectos de esta naturaleza, ya que hacen posible devolver la diversidad que han perdido las regiones o comunidades en el transcurso del tiempo y que se encuentra en éstos. En los bancos de germoplasma se pueden encontrar poblaciones nativas sobresalientes en cuanto a rendimiento, caracteres agronómicos y calidad del grano. También hacen posible enriquecer la diversidad en uso en las comunidades y regiones con materiales provenientes de otros lados, y conservar las poblaciones sobresalientes producto del mejoramiento participativo en otras regiones, con lo que se intensifica el intercambio de semillas entre muy diferentes pueblos y comunidades del país.

La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados

La Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (Artículo 3, 2005) define que el centro de origen corresponde a “*aquella área geográfica del territorio nacional en donde se llevó a cabo el proceso de domesticación de una especie determinada*”, de manera que no hace distinción alguna sobre el centro de origen y el centro de domesticación. Como ya se vio, distinguir ambos conceptos e incluir su definición es

importante para incorporar la historia evolutiva y el contexto biológico de las especies cultivadas.

La LBGOM (Art. 87, 2005) también menciona que los criterios para determinar los centros de origen y de diversidad genética son los siguientes: 1) que se consideren centros de diversidad genética las regiones que actualmente albergan poblaciones de los parientes silvestres del OGM de que se trate, incluyendo diferentes razas o variedades del mismo, las cuales constituyen una reserva genética del material; y 2) en el caso de cultivos, las regiones geográficas en donde el organismo de que se trate fue domesticado, siempre y cuando estas regiones sean centros de diversidad genética. Estos dos criterios limitan el reconocimiento de las regiones geográficas importantes en cuanto a bioseguridad se refiere: los verdaderos centros de origen, domesticación y diversidad, porque como hemos discutido hasta ahora, estos tres no siempre convergen en un único punto. Visto de esta manera, la Ley exige la convergencia de 3 características para poder identificar centros de origen y diversidad de las especies cultivadas: 1) presencia de diversidad morfogenética; 2) presencia de poblaciones de parientes silvestres y; 3) la clasificación como reserva genética, (Kato *et al.*, 2009) lo cual no es la regla para todas las especies y lamentablemente provoca la reducción a su mínima expresión del área geográfica en que se distribuyen (Kato *et al.*, 2009).

Cabe mencionar que el Protocolo de Cartagena no maneja en ninguna sección de su contenido la definición de centro de origen o centro de diversidad genética, pero sí hace mención de ambos conceptos de manera importante.

Dada tal situación de los instrumentos legales que en nuestro país regulan las actividades con OGM es fundamental y urgente plantear definiciones actualizadas e integrales de los centros de origen, domesticación y diversidad genética. En este sentido, Kato y sus colaboradores (2009) concluyen que las definiciones y los artículos relacionados con los centros de origen y diversidad, y de manera particular el régimen de protección especial del maíz, deberían ser reformados sustancialmente en la actual Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, ya que no se ajustan a las evidencias científicas desarrolladas a lo largo de más de cien años de investigación, y no cumplen con el propósito de proteger y resguardar el germoplasma nativo del maíz y sus parientes silvestres en México. La información científica analizada por Kato y sus colaboradores (2009) permite un análisis más riguroso de

la Ley de Bioseguridad en cuanto a las definiciones de centro de origen y diversidad contenidas en la misma, así como de los artículos 86 y 87 que están directamente involucrados en estas definiciones.

Finalmente, Kato y sus colaboradores (2009) recomiendan reinstalar y mantener la moratoria a la introducción de maíz transgénico en el territorio mexicano, revisar el artículo 2 fracción XI sobre el régimen de protección especial del maíz y fomentar el mejoramiento del maíz nativo mexicano para poder rescatarlo de los potenciales efectos negativos del maíz transgénico. Asimismo, para proteger la diversidad genética del maíz se debe proteger a los más de dos millones de agricultores de pequeña escala o marginados que existen en el país. Ellos son los guardianes del germoplasma nativo de maíz, ya que conservan, mantienen e incluso modifican la diversidad genética presente en sus territorios mediante el intercambio, flujo genético y experimentación de nuevas semillas. Se les debe atender con subsidios, asesoría técnica y programas de desarrollo rural porque el maíz, especie modelo de centro de origen, domesticación y diversificación en México, debe ser ejemplo para la protección de las demás especies de las que México es centro de origen.

Referencias

- Aguilar-Meléndez, A., Morrell, P. L., Roose, M. L., & Klim, S. (2009). Genetic diversity and Structure in Semiwild and Domesticated Chiles (*Capsicum annum*; Solanaceae) from México. *American Journal of Botany*, *96*, 1190-1202.
- Bayer, M., Nawy, T., Giglione, C., Galli, M., Meinnel, T., & Lukowitz, W. (2009). Paternal control of embryonic patterning in *Arabidopsis thaliana*. *Science*, *232*, 1485-1488.
- Bellón, M. (n.d.). *Plural poverty mapping in Mexico*. CIMMYT. Retrieved from <http://www.cimmyt.org/gis/povertymexico>
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México, hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. México: Instituto Nacional de Antropología e Historia: Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Burger, J. C., Chapman, M., & Burque, J. M. (2008). Molecular insights into the evolution of crop plants. *American Journal of Botany*, *95*, 113-122.

- Casas, A., Otero-Arnaiz, A., Pérez-Negrón, E., & Valiente-Banuet, A. (2007). In situ management and domestication of plants in Mesoamerica. *Annals of Botany*, 100, 1101-1115.
- Casas, A., Vázquez, M. C., Viveros, J., & Caballero, J. (1996). Plant management among the Nahua and the Mixtec from the Balsas River Basin: and ethnobotanical approach to the study of plant domestication. *Human Ecology*, 24, 455-478.
- CDI-PNUD. (2006). *Sistema de Indicadores sobre la Población Indígena con base Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2005. II Censo de Población y Vivienda*. México.
- CDI-PNUD. (2002). *Sistema de Indicadores sobre la Población Indígena con base Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática 2000. XII Censo General de Población y Vivienda 2000*. México.
- Chen, H., Morrell, P., Ashworth, V., De La Cruz, M., & M.T. C. (2009). Tracing the geographic origins of major avocado cultivars. *Journal of Heredity*, 100, 56-65.
- CONABIO. (2006). *Documento base sobre centros de origen y diversidad en el caso de maíz en México*. México.
- CONABIO. (2006). *México como centro de origen de plantas cultivadas. Coordinación de Análisis de Riesgo y Bioseguridad*. Obtenido de Capital natural y bienestar social. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad: www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/doctos/Doc_CdeOCdeDG.pdf
- Corander, J., & Tang, J. (2007). Bayesian analysis of population structure based on linked molecular information. *Mathematical Biosciences*, 205, 19-31.
- Crandall, K., Bininda-Emonds, O., Mace, G., & Wayne, R. (2000). Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 15, 290-295.
- Darwin, C. (1859). *On the Origin of Species*. Harvard University Press.
- De Candolle, A. (1883). *L'origine des plantes cultivées*. Bailleire. Paris: G. Baillièrre et cie .
- De la Vega, S. (2001). *Índice de desarrollo social de los pueblos indígenas*. México: INI-PNUD.
- Doebly, J., Gaut, B., & Smith, B. (2006). The Molecular Genetics of Crop Domestication. *Cell*, 127, 1309-1321.
- Engels, J., Ebert, A., Thormann, I., & De Vicente, M. (2005). Centres of crop diversity and/or origin, genetically modified crops and impli-

- cations for plant genetic resources conservation. *Genetic Resources and Crop Evolution*(53), 1675-1688.
- England, P., Osler, G., Woodworth, L., Montgomery, M., Briscoe, D., & Frankham, R. (2003). Effects of intense versus diffuse population bottlenecks on microsatellite genetic diversity and evolutionary potential. *Conservation Genetics*, 4, 595-604.
- Eubanks, M. (1995). A cross between two maize relatives: *Tripsacum dactyloides* and *Zea diploperennis* (Poaceae). *Econ*(49(2)), 172-182.
- Excoffier, L., & Heckel, G. (2006). Computer programs for population genetics data analysis: a survival guide. *Nature Reviews Genetics*(7), 745-748.
- Frankham, R. (2002). *Introduction to conservation genetics*. England: University Press.
- Frankham, R., Ballou, J., & Briscoe, D. (2002). *Introduction to conservation genetics*. England: Cambridge University Press.
- Fukunaga, K., Hill, J., Vigoroux, Y., Matsuoka, Y., Sanchez J, L. K., Buckler, E., & Doebley, J. (2005). Genetic diversity and population structure of teocintle. *Genetics*, 169, 2241-2254.
- Fuller, D. Q. (2007). Contrasting patterns in crop domestication rates: Recent archaeobotanical insights from the old world. *Annals of Botany*, 100, 903-924.
- Geist, J., & Kuehn, R. (2005). Genetic diversity and differentiation of central European freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera* L.) populations: implications for conservation and management. *Molecular Ecology*, 14, 425-439.
- Gillespie, J. (2004). *Population genetics: a concise guide*. Maryland: John Hopkins University.
- Gómez-Campo, C. (Ed.). (1999). *Biology of Brassica Coenospecies, Volume 4 (Developments in Plant Genetics and Breeding)*. Elsevier.
- Hancock, J. (2004). *Plant Evolution and the Origin of Crop Species* (2nd ed.). Wallington Ox. U.K.: CABI Publishing.
- Harlan, J. (1971). Agricultural origins: centers and noncenters. *Science*, 174, 468-474.
- Harris, S., Robinson, J., & Juniper, B. (2002). Genetic clues to the origin of the apple. *Trends Genet*, 18(8), 426-430.
- Hernández, X. E. (1987). Xolocotzia. Obras de Efraím Hernández Xolocotzi. Tomo II. *Revista de Geografía Agrícola. Universidad Autónoma de Chapingo*.

- Hernández, X. E., & F. G. A. (1970). Estudio Morfológico de cinco nuevas razas de maíz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas. *Agrociencia*, 1, 3-30.
- Heun, M. R., Schaefer-Pregl, D., Klawan, R., Castagna, M., Accerbi, B., Borghi, & Salamini, F. (1997). Site of einkorn wheat domestication identified by DNA fingerprinting. *Science*, 278, 1312-1314.
- Hey, J., Waples, R., Arnold, M., Butlin, R., & R.G., H. (2003). Understanding and confronting species uncertainty in biology and conservation. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 597-603.
- Iltis, H. (1983). From teosinte to maize: the catastrophic sexual transmutation. *Science*, 222, 886-894.
- INALI. (2007). *1ª Reunión Extraordinaria del Comité de Información del Instituto Nacional de Lenguas Indígenas*. Obtenido de www.inali.gob.mx/pdf/acuerdos_comite.pdf
- INEGI. (2000). *XII Censo General de Población y Vivienda. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática*. México, D.F.
- Kato Y., T. (1984). Chromosome morphology and the origin of maize and its races. *Evol. Biol.*, 17, 219-253.
- Kato, T., Mapes, C., Mera, L., Serratos, J., & Bye, R. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México, D.F.: Universidad Nacional Autónoma de México, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- Li, X., Xu, C., & Zhang, Q. (2004). Ribosomal DNA space-length polymorphisms in three samples of wild and cultivated barleys and their relevance to the origin of cultivated barley. *Plant Breeding*, 123, 30-34.
- Lumholtz, C. (1902). *Unknown Mexico*. New York, USA: Charles Scribners & Sons.
- Manel, S. S. (2003). Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology and Evolution*, 18, 189-197.
- Mangelsdorf, P., & Reeves, R. (1939). The Origin of Indian Corn and its Relatives. *Texas Agric. Expt. Sta., Bulletin* 574.
- Martínez-Castillo, J., Zizumbo-Villareal, D., Gepts, P., & Colunga-García-Martín, P. (2007). Gene Flow and Genetic Structure in the Wild-Weedy-Domesticated Complex of *Phaseolus lunatus* L. in the Mesoamerican Center of Domestication and Diversity. *Crop Science*, 47, 58-66.
- Matsuoka, Y., Vigouroux, Y., Goodman, M., J. Sanchez, J., Buckler, E., & Doebley, J. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS*, 99, 6080-6084.

- McClintock, B. (1978). Significance of chromosome constitutions in tracing the origin and migration of races of maize in the Americas. In D. B. Walden (Ed.), *Maize Breeding and Genetics* (pp. 159-184). New York: John Wiley and Sons.
- Mijangos, C. (2005). *Estudio de la diversidad genética y relaciones filogenéticas en poblaciones de maíz de la Sierra Tarasca de Michoacán*. Tesis de Doctorado, Recursos Genéticos y Productividad Genética. Colegio de Posgraduados.
- Molina M., J. C., & Córdova T., L. (Edits.). (2006). *Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006*. Chapingo, México: Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. .
- Moritz, C. (1999). Conservation units and translocations: strategies for conserving evolutionary processes. *Heredity*, 130, 217-228.
- Muller, M., Prosperi, J., Santoni, S., & Ronfort, J. (2003). Inferences from mitochondrial DNA patterns on the domestication history of alfalfa (*Medicago sativa*). *Molecular Ecology*, 12, 2187-2199.
- Muñoz, A. (2003). *Centli-Maíz. Prehistoria, historia, diversidad, potencial, origen genético y geográfico*. México: Colegio de Posgraduados-SAGARPA.
- Ortega P., R., Sánchez G., J. J., Castillo G., F. & Hernández C., J. M. (1991). Estado Actual de los estudios sobre maíces nativos de México. En R. Ortega P. (Ed.), *Avances en el estudio de los recursos fitogenéticos* (págs. 161-185). Chapingo, Estado de México: SOMEFI.
- Ortega P., R. (2003). La diversidad del Maíz en México. En G. Esteva, & C. Marielle (Edits.), *Sin maíz no hay país*. Culturas Populares de México.
- Ortega P., R. (2010). Hacia la conservación y mejoramiento in situ de la diversidad del maíz de México. En *Agricultura, Ciencia y Sociedad Rural: 1810-2010. Volumen I: Recursos Naturales y Sociedad Sustentable* (págs. 223-253). Universidad Autónoma Chapingo.
- Ortega P., R., Palomino H., G., Castillo G., F., González H., V. M. & Livera M., M. (1991). *Avances en el estudio de los Recursos Fitogenéticos de México*. México: Sociedad Mexicana de Citogenética A.C.-CONACYT-IBPGR-Jardín Botánico UNAM.
- Palsboll, P. B., & Allendorf, F. (2007). Identification of management units using population genetic data. *Trends in Ecology and Evolution*, 22, 11-16.

- Pearse, D., & Crandall, K. (2007). Beyond Fst : Analysis of population genetic data for conservation. *Conservation genetics*, 5, 582-602.
- Pickersgill, B. (2007). Domestication of Plants in the Americas: Insights from Mendelian and Molecular Genetics. *Annals of Botany*, 100, 925-940.
- Pritchard, J. S., & Donnelly, P. (2000). Inference of population structure using multilocus genotype data. *Genetics*, 155, 945-959.
- Reed, D., & Frankham, R. (2003). Correlation between fitness and genetic diversity. *Conservation Biology*, 17, 230-237.
- Salamini, F. H.-P., & Martin, W. (2002). Genetics and Geography of Wild Cereal Domestication in the Near East. *Nature Reviews Genetics*, 3, 429-441.
- Sánchez, J. M. (2000). Isozymatic and morphological diversity in the races of maize of Mexico. *Economic Botany*, 54, 43-59.
- Sanjurjo, O. D.-B. (2002). Phylogenetic relationships among domesticated and wild species of Cucurbita (Cucurbitaceae) inferred from a mitochondrial gene: Implications for crop plant evolution and areas of origin. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(1), 535-540.
- Santure, A. W. (2006). Influence of mom and dad: quantitative genetic models for maternal effects and genomic imprinting. *Genetics*, 173, 2297-2361.
- Serrano, E. A. (2002). *Indicadores socioeconómicos de los Pueblos Indígenas de México*. INI, UNDP, CONAPO.
- Serratos Hernández, J. (2009). *El origen y la diversidad del maíz en el continente Americano*. Greenpeace 4-5. Obtenido de <http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2009/3/el-origen-y-la-diversidad-del.pdf>
- Spooner, D. M., & Bryan, G. J. (2005). A single domestication for potato based on multilocus AFLP genotyping. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 102:14,694–14,699.
- Taba, S. (Ed.). (1995). *Maize Genetic Resources. Maize program special report: Latin America Maiz Germoplasm Regeneration and Conservation*. México: CIMMYT.
- Terán, S., & Rasmussen, C. (1994). *La milpa de los Mayas Prehispánicos y actuales*. Danida.
- Toledo Llancaqueo, V. (2007). El nuevo régimen internacional de derechos de propiedad intelectual y los derechos de los pueblos indígenas. En C. L. López, *Biodiversidad y Conocimiento tradicional en la sociedad rural. Entre el común la propiedad privada*. Colección

- Estudios e Investigaciones. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria.* México: Cámara de Diputados, IX Legislatura.
- Toledo, V. e. (1985). *Ecología y autosuficiencia alimentaria.* México: Siglo XXI Editores.
- Toledo, V. e. (2001). Atlas etnoecológico de México y Centro América; Fundamentos, métodos y resultados. *Etnoecológica*, 6(8), 7-41.
- Toledo, V. M., & P. Alarcón-Chaires, P. M.-A. (2002). Biodiversidad y pueblos indios en México y Centroamérica. *Biodiversitas*, 43, 1-8.
- Vavilov, N. (1927(1992)). *Origin and Geography of Cultivated Plants.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Vavilov, N. (1994[1931]). México y Centroamérica como centro básico de origen de las plantas del nuevo mundo. *Revista de Geografía Agrícola*, 20, 15-34.
- Vogler, A., & R., D. (1994). Diagnosing units of conservation management. *Conservation Biology*, 8, 354-363.
- Wade, M. (1998). *The evolutionary genetics of maternal effects” en Maternal effects as adaptations (Mousseau, T.A. y Fox C.W.).* U.K.: Oxford University Press.
- Walter, R., & Epperson, B. (2001). Geographic pattern of genetic variation in *Pinus resinosa*: area of greatest diversity is not the origin of postglacial populations. *Molecular Ecology*, 10, 103-111.
- Wellhausen, E. J., & Mangelsdorf, e. c. (1987). Razas de maíz en México, Su origen, características y distribución. *Revista de Geografía Agrícola.*
- Wellhausen, E. J., & X., E. H. (1951). Razas de maíz en México. *Folleto Técnico No. 5. Oficina de Estudios Especiales, Secretaría de Agricultura y Ganadería.*
- Wu, J. K. (1998). Abundant mitochondrial genome diversity, population differentiation and convergent evolution in pines. *Genetics*, 1605-1614.
- Zeder, M. (2006). Central questions in domestication of plants and animals. *Evolutionary Anthropology: Issues, News and Reviews*, 15, 105-117.
- Zohary, D. (1999). Monophyletic vs. polyphyletic origin of the crops on which agriculture was founded in the Near East. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 46, 133-142.



CAPÍTULO 2
LAS LÍNEAS DE MAÍZ TRANSGÉNICO DISPONIBLES
PARA LA AGRICULTURA: PROMESAS, HECHOS Y POTENCIAL
EN EL CONTEXTO DE MÉXICO



*Valeria Alavez, Elena R. Alvarez-Buylla, Alma Piñeyro Nelson,
Ana Wegier, José Antonio Serratos Hernández y Jorge Nieto-Sotelo*

Antecedentes de la biotecnología contemporánea en agricultura

La agricultura, una actividad humana que se remonta a la época Neolítica, ha sido fundamental para cimentar todas las civilizaciones existentes,¹ y ha generado una gran diversidad de plantas cultivables domesticadas por el ser humano.

Si bien desde los inicios de esta actividad los agricultores han favorecido la supervivencia diferencial de aquellas plantas con características útiles, a partir del descubrimiento de las leyes de Mendel este proceso conocido como “mejoramiento genético” se pudo realizar de manera más sistemática y dirigida, lo que ha llevado en los últimos setenta años al mejoramiento masivo de diferentes granos básicos como el maíz, el arroz, el trigo, el frijol, la soya y otros más.

Los mejoradores agrícolas han sido capaces de combinar plantas híbridas que manifiestan características ventajosas para el agricultor o el consumidor. Para llevar a cabo este proceso, primero es necesario obtener dos progenitores genéticamente diferentes, en cada uno de los cuales los rasgos elegidos por el mejorador, y muchísimos otros no reconocidos o elegidos por éste, se vuelvan homócigos o sean “fijados”

mediante la selección de individuos que durante varias generaciones se polinizan consigo mismos de manera controlada hasta lograr líneas “puras” (líneas endogámicas)¹. Al cruzar entre sí a dos líneas endogámicas con diferente genealogía, algunas de los híbridos resultantes muestran el llamado “vigor híbrido”, es decir su crecimiento y rendimiento o la resistencia a ciertas enfermedades son superiores a los mostrados por cualquiera de los dos progenitores. No obstante la conveniencia de obtener híbridos con ciertas características ventajosas, dicha estrategia presenta algunas limitaciones. Una de las más evidentes es el hecho de que cualquier población de híbridos producidos artificialmente de esta manera muestra una diversidad genética mucho menor que la que se puede encontrar en una población de polinización abierta (natural), como es el caso del maíz. Es decir, la hibridación artificial va en el sentido opuesto de la hibridación natural, pues en esta última los progenitores no son líneas endogámicas, preservando o en muchos casos aumentando en cada generación la diversidad genética de la población de “híbridos” naturales.² Estas observaciones indican que la producción de cultivos transgénicos comerciales depende de la introducción de nuevos genes exógenos (que ha sido la lógica imperante en la generación de plantas transgénicas) y de la combinación particular en la que se encuentran genes nativos en las variedades híbridas receptoras.

A continuación se explica qué es la ingeniería genética de plantas, qué características tiene y si esta aproximación para el mejoramiento genético de plantas es cualitativamente distinta al mejoramiento agronómico convencional, además de hacer un repaso de los alcances

¹ Después de diez ciclos de autofertilización, artificialmente controlados por el mejorador, el 90% o más de todos los genes del individuo resultante son homocigotos.

² Durante el proceso de generación de líneas endogámicas se pierden muchas variantes genéticas de la población (esto es, los alelos) de cada uno de los *loci* o genes de interés. Por lo tanto, los organismos homocigotos (con el mismo alelo en los dos cromosomas hermanos) dominan las poblaciones, es decir, se va perdiendo la diversidad genética. Las implicaciones de estos procesos son que en la hibridación natural se promueve la diversidad genética, manteniéndose en la población individuos con mejores adaptaciones al ambiente o incluso a nuevas condiciones, mientras que en la hibridación artificial los rasgos mejorados se reducen a ciertas características elegidas, provocando una elevada homogeneidad genética y disminuyendo las posibilidades de que en esas poblaciones existan individuos que puedan ser posteriormente seleccionados para mejorar otras características diferentes a las originalmente planeadas, en caso de así requerirse. Es decir, con esta estrategia se corre el riesgo de perder variantes genéticas que eventualmente podrían ser útiles para enfrentar nuevas plagas o condiciones.

y limitaciones de los cultivos de maíz transgénico disponibles comercialmente.

Qué es la ingeniería genética de plantas y por qué se usa

La ingeniería genética, entendida como la manipulación directa del material de la herencia y sus productos (proteínas) mediante el uso de técnicas de genética molecular, fue posible a partir del descubrimiento de la molécula fundamental de la herencia, el ácido desoxirribonucleico (ADN), realizado en 1953 por Francis Crick y James Watson. En el ADN de todo ser vivo se encuentran dos tipos diferentes de secuencias genéticas: 1) los genes, cuya secuencia contiene la información para la síntesis de proteínas, las moléculas que llevan a cabo todas las funciones biológicas en un ser vivo, como son la conformación de la estructura, transporte, comunicación y metabolismo celular; y 2) las secuencias reguladoras, que son segmentos de ADN que determinan el tiempo y el sitio o sitios en donde se expresan los distintos genes durante el ciclo biológico de un organismo. Estos dos tipos de secuencias pueden ser manipulados en el laboratorio mediante la ingeniería genética para ser aislados, clonados e insertados a una planta o animal con el fin de que produzca una sustancia que normalmente no produce o que altere de alguna manera la regulación de ciertos genes. A un ser vivo al que se le han insertado de manera estable genes y/o secuencias reguladoras externas se le conoce como un organismo genéticamente modificado (OGM) o transgénico.

Los sucesos científicos más importantes que siguieron al descubrimiento del ADN y que posibilitaron la transformación genética de diferentes seres vivos fueron: 1) el descubrimiento de proteínas que permiten cortar el ADN en secuencias específicas (enzimas de restricción), así como de otras que pueden pegarlo (ligasas); 2) el proceso de clonación mediante el ligado de construcciones quiméricas (compuestas por fragmentos de ADN procedente de diferentes seres vivos) en vehículos (como plásmidos o fagos) que se introducen o infectan bacterias, que al reproducirse dan lugar a múltiples copias de la construcción en cuestión. Más recientemente, la clonación o multiplicación de las construcciones quiméricas se puede hacer *in vitro* mediante la reacción en cadena de otra enzima, la polimerasa del ADN. El conjunto de estas técnicas permite combinar fragmentos de genomas de organismos filogenéticamente

distantes, tales como virus, bacterias, plantas, animales y humanos, que no se combinarían normalmente.

En el caso de la transformación genética de plantas, una de las técnicas más utilizadas se vale de plásmidos que contienen construcciones quiméricas, las cuales a su vez se encuentran dentro de la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, que tiene la capacidad de infectar las plantas y transferir en este proceso fragmentos de su ADN, lo cual provoca que la planta produzca compuestos nutritivos para la bacteria, mientras la planta hospedera sufre un desarreglo hormonal y celular que da paso a tumoraciones (Gordon-Kamm *et al.*, 1990). Esta bacteria no infecta con igual éxito todas las plantas, por lo que en el caso de los primeros eventos de transformación en maíz, éstos se hicieron con un método de introducción de ADN basado en medios físicos: la biobalística. En este tipo de transformación, la construcción recombinante se incluye en un vector, generalmente un plásmido de origen bacteriano, que sirve para su reproducción en bacterias (clonación). Dicha construcción es posteriormente introducida a células vegetales en cultivo (protoplastos) mediante microbalas de oro o tungsteno que son embebidas con una solución que contiene muchas copias del plásmido modificado.

Las técnicas de transformación en plantas se perfeccionaron rápidamente y en la segunda mitad de la década de 1980 se produjeron las primeras plantas transformadas (tabaco) con ADN recombinante: plantas resistentes al ataque de insectos debido a la expresión del gen Bt, plantas con mayor resistencia al ataque del virus TMV o plantas que producían la enzima luciferasa y por lo tanto, eran fluorescentes en la oscuridad (Abel *et al.*, 1986; Barton *et al.*, 1987; Ow *et al.*, 1987).

En un inicio se pensaba que la información contenida en el ADN iba a ser suficiente para saber cómo se construyen los seres vivos y por lo tanto, cómo transformarlos para lograr cambios dirigidos. Sin embargo, la información contenida en el ADN no es suficiente para por sí misma especificar todos los tipos celulares, estructuras y funciones de un ser vivo. Entonces se dedujo que la información generada en niveles superiores a la codificada en el ADN debe ser importante. Por ejemplo, las interacciones de las proteínas codificadas por los genes son muy importantes para las funciones celulares. De la misma manera, cuando se introduce un gen “nuevo” su expresión dependerá del sitio dentro del genoma en donde se inserte (en qué cromosoma, en qué dirección de lectura de la polimerasa de ARN, etcétera), ya que en la cromatina no todos los genes están en posibilidades de ser expresados debido

a sus modificaciones estructurales, algunas de las cuales son al nivel de la metilación del ADN. A todos estos efectos e interacciones que no están codificados en la secuencia lineal (letras) de las bases del ADN se les conoce como efectos epigenéticos. Por ello, el efecto de un transgén dependerá del genoma y el sitio particular donde éste se inserte. A pesar de que hay muchos datos científicos que documentan la importancia de la epigénesis y las secuencias e interacciones intergénicas, las plantas transgénicas generadas hasta ahora se han hecho con base en el paradigma de que un gen es responsable de una proteína particular y que su efecto en la planta depende, entonces, sólo de sí mismo, como si estuviese aislado del medio genómico y celular en que se produce. Esta premisa, ya superada, es justamente la que da lugar a algunas de las incertidumbres, riesgos e insuficiencias tecnológicas más importantes de la actual generación de plantas transgénicas (ver capítulo 5).

En las últimas décadas, el desarrollo de la biotecnología vegetal ha inducido un cierto “entusiasmo tecnológico”, ya que permite regenerar plantas completas y funcionales a partir del cultivo de pequeñas piezas de hojas y tallos o de masas diminutas de células vegetales que se dividen activamente (meristemos), las cuales se encuentran frecuentemente en la punta de tallos, ramas y raíces. Esta característica natural de las plantas dio lugar a un método para multiplicar plantas *in vitro* por cultivo de tejidos, al cual se le conoce como “propagación clonal”. El uso de esta metodología permite obtener millones de plantas con el mismo genotipo, a partir de una sola, en lapsos cortos de tiempo. Esta técnica estableció las bases para la *industria de la micropropagación* y ha sido útil para la producción de plantas modificadas por ingeniería genética o plantas transgénicas. En algunos casos, este cultivo da lugar a masas indiferenciadas de células totipotenciales (capaces de generar una planta completa y funcional a partir de una célula) conocidas como “callos” y que, bajo ciertas condiciones, generan estructuras embrionarias llamadas “embriones somáticos”, los cuales se pueden desarrollar normalmente formando primero tallos y después raíces. Así se han desarrollado especies ornamentales y agrícolas como la papa, la fresa, la palma de aceite, el plátano, algunas plantas medicinales y ciertos árboles. Estos desarrollos son ventajosos porque en poco tiempo se obtiene gran cantidad de plantas individuales con el genotipo ideal y libre de enfermedades, sin embargo, este enfoque también tiene las desventajas de la propagación asexual, ya que genera plantas que pueden acumular mutaciones somáticas y con pobre diversidad genética, lo que disminuye la capacidad de defensa a

factores bióticos y abióticos, por lo que en la agricultura estas plantas deben estar acompañadas de un arsenal de químicos que suplan estas deficiencias, como herbicidas, fungicidas e insecticidas.

La transgénesis en plantas provenientes de estos métodos de propagación tiene la limitación adicional de que no es posible predecir el sitio del genoma en donde se insertará el transgén, lo que aumenta la incertidumbre en torno a los efectos no deseados de la transformación genética. Esto implica que dos plantas idénticas genéticamente, con el mismo transgén insertado, pueden tener formas y fisiologías diferentes, simplemente porque el transgén se insertó en sitios distintos dentro de su genoma. Dada esta situación, más la eficiencia relativamente baja de la transformación de plantas, habitualmente se generan muchas líneas transgénicas independientes ya que cada una tendrá los transgenes insertados en distintos sitios de manera aleatoria, por lo que es necesario llevar a cabo un tamizado para seleccionar las plantas que hayan incorporado de manera exitosa la construcción transgénica.

La selección se lleva a cabo a partir de los cultivos celulares llamados callos (en el caso del maíz), utilizando marcadores de selección, los cuales suelen ser genes de origen bacteriano que producen proteínas que confieren resistencia a un antibiótico particular o un herbicida, una proteína visible bajo cierta iluminación o enzimas que permiten a la planta transformada usar sustratos que normalmente no podría metabolizar —estos últimos son llamados marcadores de “selección positiva” (Barceló, *et al.*, 2001). Con este sistema, todas aquellas plantas que no hayan incorporado de manera exitosa el marcador de selección, morirán al no poder crecer en el medio selectivo (es decir, el medio de cultivo adicionado con el antibiótico, enzima o sustrato en el que sería imposible para una planta no transgénica sobrevivir). Los marcadores más utilizados en las líneas de maíz transgénico comercializadas a la fecha son genes de resistencia a antibióticos. Una vez eliminadas las plantas no transgénicas, las plantas transgénicas se colocan en invernaderos para seleccionar *a posteriori* aquellas líneas con las características deseadas, de las cuales se regeneran plantas completas que producirán semillas, y éstas podrán ser vendidas una vez que hayan sido aprobadas por las agencias reguladoras pertinentes. Recientemente se ha desarrollado una técnica de transformación genética que permite la inserción de transgenes a sitios precisos dentro del genoma de las plantas y animales mediante el uso de nucleasas con dedos de zinc (Shukla *et al.*, 2009). Este método podría superar muchas de las incertidumbres y riesgos producto de la

transformación genética aleatoria antes mencionada, aunque no elimina los riesgos a la salud y ecológicos.

Dado que las interacciones de los genes y sus productos son importantes y pueden tener efectos inesperados, para evaluar las consecuencias y alcances de la transgénesis es imprescindible analizar cuidadosamente todas las secuencias que se han introducido en las líneas de maíz transgénico que se quieren plantar a campo abierto en México. Los componentes transgénicos o recombinantes que deben analizarse son: 1) el transgén de interés, 2) las secuencias que regulan en dónde y cuándo se expresará el transgén (secuencias promotoras), 3) las secuencias necesarias para marcar la terminación de la transcripción de un gen (terminadores), 4) las secuencias que flanquean a la inserción de la construcción recombinante o quimérica al ADN genómico de la planta receptora, y 5) el número de copias de cada una de las secuencias mencionadas arriba.

Los transgenes son introducidos casi siempre en tejidos embrionarios o indiferenciados, por lo que estarán presentes en todos los tejidos adultos y células de una planta y se replicarán junto con ésta, generación tras generación. Las plantas transgénicas, por ser normalmente plantas fértiles, una vez liberadas en el ambiente podrán mezclarse con plantas no transgénicas de la misma especie, incluso las plantas transgénicas estériles (por tener los óvulos inviables), podrán también fecundar a otras silvestres a través del polen. Eventualmente, estos eventos de entrecruzamiento podrán dar como resultado la presencia de varios transgenes en una misma planta. Los efectos de estas nuevas combinaciones (o apilamientos) son difíciles de predecir.

Este apilamiento de transgenes cobra mayor relevancia si pensamos que el efecto de cada uno de los genes de un ser vivo en la apariencia de éste se ve afectado por las interacciones de proteínas producto de genes distintos, es decir, el contexto genético. Por ello, las combinaciones novedosas entre transgenes y genes nativos pueden producir efectos físicos difíciles de predecir. Un ejemplo de esto son los múltiples casos documentados en donde la adición de un solo gen o su silenciamiento (es decir, cuando el gen está presente pero no es capaz de generar la proteína para la cual codifica) pueden producir efectos grandes en la apariencia de los organismos. Por ello, a pesar de que las empresas que producen OGM hayan evaluado los efectos de los genes introducidos en sus plantas, al abrirse la posibilidad de entrecruzamiento con parientes silvestres o cultivados se generan nuevas incertidumbres y riesgos con

respecto a lo estable y adecuado que será el efecto de un transgén en la apariencia de la descendencia de una planta transgénica y una no transgénica debido al cambio de contexto genético y genómico.

Adicionalmente, el efecto de los genes en la apariencia de los seres vivos depende también del ambiente en el cual se desarrolla y vive el organismo que los contiene. Dado lo anterior, las combinaciones novedosas y artificiales de la ingeniería genética abren incertidumbres y riesgos que dependen de la especie en cuestión y del ambiente en el cual se liberará, ya que se ha visto que factores ambientales pueden afectar la expresión de los transgenes presentes dentro de un OGM.

Dados los diferentes niveles de interacción en donde la expresión de un transgén se puede ver perturbada (genético, genómico y ambiental) y a que esta perturbación puede afectar la apariencia de una planta, las consecuencias nocivas de la introducción de plantas transgénicas en el ambiente pueden ser no intencionales y mayores a las previstas. Los riesgos deben evaluarse, y de existir, prevenirse para asegurar que los beneficios potenciales no causen efectos negativos con consecuencias irreversibles.

¿Es la ingeniería genética cualitativamente distinta al mejoramiento tradicional? Una polémica científica desde dos paradigmas

Con base en lo expuesto en la sección anterior y dado que la ingeniería genética implica la introducción de ADN en especies lejanamente emparentadas, cuando la transferencia de ADN entre ellas es muy poco probable por métodos naturales (transferencia horizontal), la respuesta general es que se trata de una estrategia cualitativamente distinta (para una discusión más detallada, ver Álvarez-Buylla y Piñeyro-Nelson, 2008). Por esta razón, en los Estados Unidos, donde desde 1970 se le dio un impulso temprano y fuerte a la generación de OGM, se implementaron medidas para una regulación pública y la vigilancia de los riesgos que implica esta tecnología. Inicialmente, el Instituto Nacional de Salud (NIH, por sus siglas en inglés: *National Institute of Health*) fue el encargado de vigilar los desarrollos de esta tecnología. Sin embargo, conforme se amplió su uso y se diversificaron sus aplicaciones, se fueron involucrando otras dependencias. Los primeros desarrollos fueron: insulina humana recombinante, bacterias resistentes al frío, tabaco resistente a insectos, quimosina, entre otros.

El mejoramiento por medio de la transgénesis y el uso de ADN recombinante es radicalmente distinto al realizado por cruzas convencionales de seres vivos interfértiles, ya que, en el primer caso: 1) se trascienden los límites naturales a la reproducción establecidos a lo largo de la evolución, que han dado como resultado la existencia de especies distintas que no se pueden entrecruzar; 2) se introduce al genoma de un organismo secuencias adicionales que actuarán al margen de los mecanismos de recombinación y regulación endógenas, por lo que se ha planteado que en algunos casos dichas inserciones pueden aumentar la inestabilidad de los genomas, las tasas de recombinación no homóloga, y la aparición de nuevos fenotipos por interacciones novedosas, silenciamientos o expresiones anómalas de genes del organismo receptor, y además, 3) en una sola construcción transgénica se combinan secuencias reguladoras y codificantes de diversos organismos con arreglos artificiales, que no se han generado en la naturaleza, y éstos son introducidos a ciegas al genoma de un organismo complejo —una planta— sin que se haya controlado el sitio de inserción. Dado que las interacciones de genes y el contexto genómico median de manera importante el efecto que un gen tiene en los rasgos visibles de un ser vivo, la transformación genética lograda por las técnicas de ADN recombinante puede generar variantes fenotípicas (esto es, en los rasgos visibles de los organismos transformados genéticamente) impredecibles y novedosas. Todas estas diferencias cualitativas implican incertidumbres y riesgos esencialmente distintos a los derivados de las cruzas genéticas entre especies emparentadas o variedades de una misma especie. Esto es particularmente cierto cuando surge la posibilidad de flujo genético de una variedad transgénica a una no transgénica en un centro de origen y/o diversidad, toda vez que los transgenes podrán terminar insertados y acumulados (en caso de liberaciones de más de una línea transgénica) en diversos contextos genómicos de las distintas variedades nativas.

La capacidad de transferir a una planta genes de organismos de diferentes especies no es exclusiva de la generación de plantas transgénicas, en el proceso de mejoramiento tradicional también se obtienen plantas con modificaciones genéticas (aunque el término transgénico lo usamos sólo para aquellas plantas cuyas modificaciones son hechas mediante las técnicas del ADN recombinante), es decir, plantas que han adquirido los genes o caracteres de variedades de la misma especie y, en algunos casos, incluso de especies vegetales diferentes. Cuando un mejorador desea introducir un carácter particular en un cultivo, busca

variedades silvestres o cultivadas que posean el carácter de interés (por ejemplo, resistencia a un hongo patógeno, resistencia a sequía, etcétera). Posteriormente realiza varias cruzas entre la variedad que se quiere mejorar y aquélla que posee la característica de interés, de tal forma que logra transferir y estabilizar el gen o los genes responsables de esta característica en la variedad cultivable objeto del mejoramiento. En este proceso de mejoramiento el intercambio genético entre las variedades o especies utilizadas es abundante, de tal forma que el o los genes de interés se transfieren acompañados de miles de genes no relacionados con la característica deseada. En cierta forma, el mejoramiento tradicional tiene la ventaja de que no es necesario conocer el o los genes involucrados en el rasgo agronómico deseado, ya que esencialmente se basa en la selección de las plantas que lo posean, independientemente de cuántos genes están implicados, cuáles se transfieren y qué mecanismos a nivel molecular subyacen tras dicho rasgo. Pero al mismo tiempo, este acercamiento no altera de manera artificial aquellas restricciones de los genomas vegetales que impiden la transferencia de algunos genes aislados del resto a otra especie.

El método de cruzas controladas convencionales no irrumpe en los mecanismos de integridad genómica que aún no entendemos a cabalidad, o en los límites a su recombinación fijados evolutivamente, y de hacerlo, entran en juego mecanismos biológicos que evitan la proliferación de un genotipo anómalo (por ejemplo, al cruzar un caballo con un burro se da paso a una mula, animal que es estéril por presentar un desequilibrio en su número cromosómico).

Se ha argumentado que las tecnologías de ADN recombinante y transgénesis permiten mejorar las plantas mucho más rápidamente que los métodos de cruzas controladas convencionales que generan variedades de polinización abierta e híbridos que tienen que ser seleccionados mediante el análisis de varias generaciones subsecuentes de plantas. Otro argumento comúnmente utilizado es que la aproximación de la ingeniería genética es más precisa, ya que se conoce cada uno de los nucleótidos que componen el gen a insertar y en muchos casos la estructura de la proteína que generará, por lo que se pueden controlar mejor sus efectos, además de que conferirá una característica novedosa y distinta a las que se podrían introducir de especies emparentadas o variedades de la misma especie. Si bien lo anterior es cierto, estas mismas ventajas implican justamente riesgos novedosos que se deben considerar.

Si bien el material hereditario de todos los seres vivos es esencialmente de la misma naturaleza química (ADN y ARN) y los seres vivos comparten una proporción considerable de genes, pues todos los seres vivos venimos del mismo ancestro común, en la naturaleza este material no está recombinado de manera aleatoria entre los distintos organismos. A lo largo de la evolución se han seleccionado ciertas combinaciones de genes y otras no. Existen restricciones, límites o barreras claras entre la composición genética de distintos organismos, un fenómeno que aún no entendemos a cabalidad y, por lo tanto, aún no comprendemos del todo cómo y por qué se determinaron las combinaciones de genes que caracterizan las distintas especies de los diversos reinos de la vida. Tampoco sabemos con certeza qué consecuencia tendrá el irrumpir en dichas restricciones cuando se combinan de manera novedosa genes de organismos que nunca podrían entrecruzarse y se insertan de manera artificial en algún organismo receptor. Una vez en la naturaleza, dichas construcciones quiméricas podrán acumularse. El efecto que pudieran tener es necesario analizarlo en los diferentes niveles de organización, ya que las consecuencias de los mismos son diferentes en individuos, poblaciones, comunidades, ecosistemas y agroecosistemas.

Por otra parte, a pesar de que todas las especies biológicas comparten muchos genes, distintos organismos tienen apariencias muy diferentes. Además, los genomas de organismos distintos tienen estructuras diferentes dadas por diversos mecanismos de integración y la dinámica de los genomas a lo largo de su evolución. De todo esto, aún entendemos muy poco. Por ejemplo, diferentes organismos tienen distinto número de cromosomas y una ploidía variable (número variable de cromosomas homólogos), mientras que existe un uso preferencial de codones (tripletes de bases de ADN que codifican para un aminoácido) en los genomas de diferentes organismos, y no entendemos por qué. La ingeniería genética trasciende estas restricciones combinando fragmentos de genomas con distintas historias evolutivas. Algunos científicos aseguran que esto podría, por ejemplo, favorecer la evolución de nuevos virus o priones (causantes de la encefalitis espongiforme bovina, conocida como la enfermedad de las vacas locas) (Ho, 2000). Otros afirman lo contrario (Hull *et al.*, 2000). Lo cierto es que aún existe incertidumbre en torno a esta posibilidad.

Lo que es muy claro es que unos pocos genes y sus interacciones pueden tener efectos importantes en la apariencia y el funcionamiento de los organismos. Este hecho plantea que la alteración artificial del ADN

de un organismo, aun en el caso donde esta alteración implique muy pocos genes, traspasa los límites del aislamiento reproductivo y puede implicar incertidumbres y riesgos novedosos con respecto del mejoramiento clásico mediante cruza de organismos interfértiles.

Si bien en la década de los treinta del siglo pasado se implementaron técnicas que no involucraban transgénesis (mejoramiento genético) pero que sirvieron para vencer ciertas barreras reproductivas —lo que permitió llevar a cabo cruza entre especies más distantes, generando nuevos híbridos, variedades y hasta especies—, estas técnicas sólo fueron exitosas en especies bastante relacionadas entre sí. En la década de los cincuenta se implementaron técnicas basadas en la aplicación de agentes mutagénicos, como la radiación o ciertos químicos, para generar mayor variabilidad genética en búsqueda de nuevas variantes resistentes a ciertas plagas o condiciones de crecimiento. Las plantas mutantes generadas a partir de esta aproximación también contienen rearrreglos artificiales en su ADN e implican alteraciones genómicas que también deben evaluarse, pero son variantes pequeñas (puntuales, generalmente involucrando pocos nucleótidos) de los genes nativos de las plantas, y no inserciones de construcciones de varios miles de pares de bases en los genomas de los organismos receptores. El hecho es que la inserción de las construcciones quiméricas hechas con las técnicas de ADN recombinante puede dar lugar a fenotipos no esperados por regulaciones cruzadas, silenciamientos o expresión ectópica de genes que se encuentran a cierta distancia de la inserción (Ver ECONEXUS, sitio en Inglaterra que lleva un registro de todos los artículos en donde esto se ha documentado www.econexus.info).

Otra diferencia importante entre ambas técnicas de mejoramiento es que en las cruza controladas convencionales se combinan los genomas completos de dos especies o variedades. Para sustituir los genes no deseados en la nueva variedad híbrida por las variantes deseadas, se tiene que recurrir a varias retrocruza, lo que implica analizar varias generaciones sucesivas de plantas. Esto hace a esta metodología más lenta que la transgénesis, en la que se transfiere una combinación de algunos pocos genes de diversos organismos al genoma de la planta receptora y en sólo un par de generaciones se puede tener una línea pura (es decir, homocigota) para el transgén o construcción transgénica transferido.

Dentro de los maíces genéticamente modificados utilizados actualmente, el maíz transgénico *Bt* produce una proteína (Cry) que originalmen-

te fue aislada de una bacteria (*Bacillus thuringiensis*), con la cual el maíz no se entrecruzaría en condiciones naturales. En otras palabras, nunca hubiera sido posible obtener este maíz cruzando la planta con la bacteria.

Además, algunas de las secuencias que se han introducido por medio de la ingeniería genética a muchas especies vegetales, como es el caso de secuencias reguladoras de virus (promotores), en la naturaleza nunca son integradas a las especies animales o vegetales infectadas por un virus, por lo que su uso en construcciones genéticas para transformar plantas puede ser problemático. Una secuencia reguladora de origen viral que ha sido ampliamente utilizada en transformaciones genéticas de maíz es el promotor 35S del Virus del Mosaico de la Coliflor (CaMV, por sus siglas en inglés), presente en más de 84% de las líneas de maíz transgénico comercializadas hasta 2008 (www.agbios.com). A continuación se presenta un análisis de las posibles consecuencias que el uso de esta secuencia puede tener.

El virus CaMV naturalmente infecta plantas de la familia *Brassicaceae*, sin embargo, su promotor 35S, aislado y fusionado en construcciones transgénicas, puede funcionar en otras dicotiledóneas así como en monocotiledóneas (Battraw y Hall, 1990), líneas celulares de coníferas (Bekkaoui *et al.*, 1990), algas verdes (Jarvis y Brown, 1991), bacterias como *Escherichia coli* (Assaad y Signer, 1990; Lewin *et al.*, 1998) y *Agrobacterium rhizogenes* (Lewin *et al.*, 1998), así como en células humanas (Myhre *et al.*, 2006).

El hecho de que este promotor sea susceptible de activar genes de especies evolutivamente distantes no ha sido adecuadamente abordado en los análisis de riesgo o ha sido negado por diferentes agencias reguladoras nacionales, internacionales y algunas empresas, con la intención de ignorar la posibilidad de que esta secuencia genética, de ser transferida a un nuevo organismo, cause problemas (Steinbrecher, R. 2002). A pesar de esto, las incertidumbres más importantes mencionadas por varios investigadores se centran en la preocupación de que la presencia del promotor 35S en las construcciones transgénicas introducidas en el genoma de una planta altere el funcionamiento de otros genes cercanos no blanco (es decir, que no son los transgenes regulados por esta secuencia) de la propia planta transgénica.

Otra preocupación ha sido la posibilidad de que el promotor 35S pueda ser transferido de las plantas transgénicas a otros organismos mediante procesos de transferencia horizontal de ADN. Tomando en cuenta la persistencia de ADN en todos los ambientes y la habilidad de

prácticamente todas las células de incorporar ADN libre, el éxito de la transferencia horizontal dependerá en gran medida de la naturaleza misma del ADN. Uno de los principales factores que determinan el éxito de la transferencia horizontal de genes es la tendencia a recombinar (Ho *et al.*, 1999). El promotor 35S posee un *hot-spot* de recombinación compuesto por una secuencia palindrómica de 19 pares de bases, incluyendo la caja TATA del mismo promotor (Kohli *et al.*, 1999). Dicho *hot-spot* de recombinación además de jugar un papel importante en la transferencia horizontal de genes exógenos, podría llevar a la reactivación de virus durmientes o a la creación de nuevos virus, así como favorecer el surgimiento de enfermedades relacionadas con el desequilibrio en la regulación genética de un organismo, que tiene como potencial consecuencia el cáncer (Ho *et al.*, 1999).

En este último caso hay especialistas que argumentan que los seres humanos y animales cotidianamente comemos plantas con varios cancerígenos potenciales, y que hasta el momento el consumo de éstos no se ha podido correlacionar con una mayor incidencia de cáncer (Hull *et al.*, 2000), mientras que en el escenario de la creación de nuevos virus se piensa que se requeriría el cumplimiento de varias condiciones poco probables en un ambiente natural como la posibilidad de que el promotor 35S pudiera ser sacado por algún mecanismo molecular del genoma de la planta transgénica y ser transferido a un virus que previamente la haya infectado, además de insertarse en la dirección adecuada para poder ser funcional. La posibilidad de recombinación ilegítima se considera también escasa, ya que la secuencia del promotor 35S del CaMV es sustancialmente diferente de las secuencias de los promotores 35S de otros virus (Hull *et al.*, 2000).

Si bien es necesario llevar a cabo experimentos explícitamente dirigidos a contrastar estas hipótesis, se ha visto que sí puede haber interacciones de un promotor 35S del CaMV inserto en una planta transgénica y el virus CaMV cuando éste ha infectado una planta. En este caso, se ha observado que los transgenes dirigidos por el promotor 35S del CaMV pueden ser silenciados, aparentemente por procesos de silenciamiento transcripcional mediado por la maquinaria subcelular de la planta (Al-Kaff *et al.*, 2000), lo cual implica que sí puede haber interacciones significativas, aunque sean indirectas, entre el promotor 35S incorporado en una planta transgénica y un virus que la infecte. Falta por corroborar si esto sucede con todos los virus o sólo con el propio

virus CaMV. Más allá de esto, se ha documentado que dicho promotor es claramente regulado por las rutas de supresión de patógenos de las plantas, una situación en la que puede tanto aumentar (Qin *et al.*, 1994) como disminuir su función (Al-Kaff *et al.*, 1998).

Por último, si bien se ha argumentado que, en última instancia, de darse la transferencia del promotor 35S al genoma de otro organismo no tendría por qué ser problemático, ya que en muchas plantas, hongos y animales se encuentran presentes de manera natural secuencias inactivas de virus, así como otras secuencias genéticas que tienen la capacidad de moverse de un lugar a otro dentro del genoma de un organismo (transposones y retrotransposones) y que estas secuencias no suelen causar alteraciones en sus portadores (Hull *et al.*, 2000), es igualmente atinado señalar que estas secuencias han sido modificadas y estabilizadas para que no sean activas y causen desajustes genéticos dentro del genoma de una especie, a través de varias generaciones de la misma, mientras que si un promotor 35S es transferido, éste se encuentra activo, completamente capaz de regular un gen cercano a su sitio de inserción. Los posibles efectos del uso del promotor 35S CaMV en la transformación de plantas mencionados hasta ahora deben ser investigados a fondo, al igual que otras secuencias genéticas y sus productos (proteínas) usadas en construcciones transgénicas.

En consecuencia, aun cuando esta nueva tecnología deja abierta la posibilidad de introducir genes de origen muy diverso y eso se pudiera considerar como una forma de introducir variabilidad o diversidad novedosa, esto mismo implica cuestiones, aún no contestadas en cuanto a las alteraciones en los mecanismos normales de homeostasis, intercambio y recombinación genética del genoma vegetal.

Las diversas incertidumbres científicas expuestas arriba para el caso del maíz deberían ser investigadas para todos los cultivares que han sido genéticamente transformados. A la fecha, existe un número importante de líneas transgénicas de varias especies vegetales, como son: algunos cereales (arroz, maíz, trigo, cebada, avena), fibras (algodón), algunas leguminosas y semillas oleaginosas (lino, canola, soya, girasol, chícharo), hortalizas (zanahoria, coliflor, apio, pepino, lechuga, melón, petunia, papa, tabaco, tomate, endivias y otras más), pastos (alfalfa, trébol, pasto de jardín y otros), ornamentales (clavel) y algunos árboles (manzano, ciruelo, nogal, álamo y pinos) entre muchos más (para una lista de plantas transgénicas comercializadas, ver: www.agbios.com).

Cultivos transgénicos: promesas y realidades de su uso en la agricultura industrializada

Las principales promesas que se hicieron en los primeros años de introducción de cultivos transgénicos es que éstos favorecerían una agricultura más limpia, que prescindirían gradualmente del uso de agroquímicos (insecticidas, herbicidas, etcétera), por tanto ayudarían a utilizar menos tóxicos para el ambiente y el ser humano, además de que ayudarían a combatir el hambre en el mundo al aumentar los rendimientos de los cultivos. Es decir, esta generación de transgénicos fue anunciada como una siguiente etapa de la Revolución Verde de los años sesenta.

El impacto que ha tenido la generación de cultivos transgénicos a escala comercial, en particular de maíz, soya y algodón, se refleja en que de 1995 a la fecha el área sembrada con éstos supera 65 millones de hectáreas, de las cuales aproximadamente 45 millones corresponden a países industrializados (Estados Unidos, Canadá, Australia, China, Japón, Holanda, Rusia, Suiza, Gran Bretaña) y el resto a países en vías de desarrollo (Argentina, Brasil, India, Paraguay, Sudáfrica, Uruguay, Colombia, Burkina Faso, República Checa, El Salvador, Corea, México, Filipinas, Taiwán); de tal forma que el porcentaje de superficie sembrada con plantas genéticamente modificadas (GM) llega a ocupar a nivel mundial hasta 46% en el caso de soya, 20% para algodón y 7% en el caso del maíz. El mercado de plantas GM se compone básicamente de dos características: plantas resistentes a insectos y plantas tolerantes a herbicidas, así como combinaciones de ambos rasgos.

En la categoría de plantas transgénicas tolerantes a herbicidas, el mercado está dominado por las tolerantes al glifosato, un análogo del aminoácido proteico glicina, cuya acción herbicida se basa en impedir la síntesis de compuestos aromáticos esenciales como el triptofano (Hetherington *et. al.* 1999). La introducción de cultivos transgénicos resistentes al glifosato en Estados Unidos a partir de 1996, ha causado que otros herbicidas sean paulatinamente reemplazados por éste, que ha sido considerado menos tóxico que otros pesticidas. A partir del cultivo a gran escala de soya, algodón y maíz transgénicos en Estados Unidos, el uso de glifosato junto con plantas transgénicas tolerantes a éste implicó una disminución en el uso de otros herbicidas en los primeros tres años, de 1996 a 1998 (Benbrook, 2009). Sin embargo, desde hace diez años la cantidad de glifosato asperjado ha ido en aumento junto con la de otros herbicidas (Benbrook, 2009).

Si bien se ha argumentado que el uso de glifosato ha permitido disminuir la aplicación en el ambiente de otros herbicidas más tóxicos a concentraciones similares, no es una solución permanente, ya que su utilización constituye una presión de selección que favorecerá la emergencia de malezas resistentes a su aplicación, lo cual ya está ocurriendo (ver www.weedscience.org/In.asp para más información). Esto ha causado que se tenga que usar cada vez mayores cantidades de este herbicida, y que sus concentraciones estén aumentando y llegando a niveles de toxicidad. Más aún, recientemente las compañías biotecnológicas iniciaron la venta de mezclas de glifosato y otros herbicidas para disminuir el problema de la aparición de plantas “voluntarias”, provenientes de semillas transgénicas resistentes a glifosato que permanecieron en el suelo una vez levantada la cosecha y que germinan en el siguiente ciclo agrícola dedicado a la siembra de un cultivo diferente. Esto es muy frecuente durante la rotación de cultivos como la soya y el maíz (Benbrook, 2009), y es un problema que pudiera revertir la tendencia que se vio en los últimos años en la disminución en la aplicación de herbicidas más tóxicos que el glifosato.

La emergencia de malezas agrícolas resistentes a glifosato se ha documentado en los últimos ocho años; más de 22 especies, entre ellas *Amaranthus palmeri*, *Conyza canadensis*, así como especies del género *Ambrosia* y algunos pastos como *Sorghum halapense* y *Eleusine indica*, han desarrollado dicha resistencia y ahora son un problema agrícola serio en varias regiones agrícolas del mundo, en particular en Estados Unidos donde, por ejemplo, *A. palmeri* ha infestado alrededor de 800,000 hectáreas y *C. canadensis* alrededor de 1,250,000 hectáreas (ver tabla 4.3 de Benbrook, 2009; <http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=12>).

Además, el uso de cultivos transgénicos tolerantes a glifosato en los últimos 13 años en Estados Unidos se ha traducido en la utilización de 145 mil toneladas de glifosato más de las que se hubiesen usado en cultivos convencionales no transgénicos (Benbrook, 2009). La respuesta de las agroempresas fabricantes de transgénicos ha sido no sólo vender agrotóxicos más fuertes para usarlos en conjunción con el glifosato, sino generar nuevas líneas de cultivos transgénicos que ahora tienen varias construcciones transgénicas apiladas con el fin de poder utilizar otros herbicidas con concentraciones mayores de glifosato durante el ciclo agrícola (Benbrook, 2009). Esta estrategia sólo empeorará los efectos al ambiente y a la salud que se han observado (Ver capítulo 6). Estudios recientes sobre el efecto de este agroquímico al contaminar cuerpos de

agua cercanos a campos de cultivo sugieren que este pesticida daña la fauna acuática, mientras que estudios de toxicidad de este agroquímico en anfibios sugiere que puede generar malformaciones durante el desarrollo (Ver capítulo 6). Además, algunos estudios en ratas sugieren que el consumo de alimentos transgénicos tolerantes a glifosato pueden causar alteraciones en indicadores de salud metabólica, lo cual parece estar relacionado fuertemente con los residuos de este pesticida en alimentos (Spiroux de Vendomois *et al.*, 2009).

En el mercado también se encuentran en venta plantas transgénicas resistentes a los herbicidas glufosinato, bromoxinil y sulfonilurea, aunque su uso a la fecha es más limitado, probablemente porque el bromoxinil y la sulfonilurea son más tóxicos y su persistencia en el suelo es mayor que la del glifosato.

La otra característica más común en plantas transgénicas actuales —la resistencia a insectos— se basa primordialmente en la expresión de alguna variante de genes Cry que fueron aislados en la bacteria del suelo *Bacillus thuringiensis* e introducidos a las plantas por ingeniería genética. Dichos genes codifican para una toxina que se cristaliza en el intestino de ciertos insectos que han ingerido esta proteína, causándoles la muerte. Los posibles riesgos a la salud humana por exposición o consumo a las toxinas Cry, comúnmente llamadas *Bt*, se han considerado como mínimos, aunque hubo muy pocos estudios sobre su inocuidad antes de comercializarse. Aun así, en Estados Unidos las autoridades sanitarias no han autorizado que todos los cultivos que expresan toxinas Cry sean usadas para consumo humano, pues algunas de ellas son sumamente termoestables y difíciles de degradar, lo cual puede aumentar el riesgo de alergenicidad. A pesar de estas restricciones, algunos de estos cultivos no aprobados para consumo humano han llegado a la cadena alimentaria por descuido de las empresas que los comercializan, como fue el caso del maíz *Starlink* que expresa la proteína Cry9C (Bucchini y Goldman, 2002). Este episodio demuestra que no basta con que las autoridades sanitarias desautoricen el uso o la comercialización de cultivos transgénicos, confiando en que las compañías seguirán al pie de la letra sus recomendaciones. Es necesario que las autoridades lleven a cabo monitoreos efectivos para asegurarse de que proteínas como la Cry9C no entren en la cadena alimentaria. La dificultad para garantizar la trazabilidad y el control de un transgénico particular es un problema inherente a las líneas transgénicas comercializadas actualmente, ya que éstas no se diferencian visualmente de cultivos no

transgénicos, por lo que su segregación es problemática. Además, los estudios de inocuidad alimentaria de cultivos *Bt* son fragmentarios e incompletos (Ver capítulo 6).

Aun así, existen estudios que han demostrado que las proteínas Cry pueden ser alergénicas y disruptoras del sistema inmune de mamíferos (Vázquez-Padrón *et al.*, 2000, Schubert, 2002), mientras que en algunos estudios de alimentación de ratas con este tipo de proteína o con el maíz transgénico que la produce se han reportado cambios metabólicos significativos (Finamore *et al.*, 2008; Spiroux de Vendomois *et al.*, 2009). Estos datos ponen de manifiesto que es fundamental avanzar en los conocimientos necesarios para predecir la alergenicidad de las proteínas y en mejorar su evaluación en modelos experimentales animales, así como discutir los criterios de evaluación de inocuidad de cultivos transgénicos, en particular con respecto a los efectos de su consumo crónico o subcrónico (Séralini *et al.*, 2009, 2012).

Las toxinas Cry actualmente en uso comercial se eligieron debido a que son selectivamente tóxicas para especies particulares de insectos, algunas de las cuales han sido plagas importantes en la agricultura de Estados Unidos y Europa, como son: el gusano barrenador europeo del maíz (*Ostrinia nubilalis*), el barrenador del suroeste del maíz (*Diatraea grandiosella*) y los gusanos del complejo bellotero del algodón (*Heliothis virescens* y *Helicoverpa zea*). En México, el algodón también es atacado por los gusanos del complejo bellotero, por lo que su uso asperjado en el norte del país ha sido muy efectivo. Este no es el caso para el maíz Bt comercializado actualmente; el gusano barrenador europeo no es un problema importante en el país. La Dra. A. Bravo y sus colaboradores del Instituto de Biotecnología de la UNAM han evaluado la toxicidad de distintas proteínas Cry en insectos que son plaga en México, y han encontrado que las proteínas Cry expresadas por los cultivos comerciales actuales no son efectivas para combatirlos. Si bien este mismo grupo de investigación propone utilizar proteínas Cry específicas para plagas como *Spodoptera frugiperda* (la más importante del maíz en México) (Bravo *et al.*, 1998), es importante evaluar si será más útil asperjar la proteína Cry sobre los cultivos específicos (práctica que se ha llevado a cabo por más de 30 años en agricultura orgánica) en lugar de generar plantas de maíz transgénico que produzcan esta proteína. Además, es necesario seguir con las evaluaciones de los efectos a la salud por el consumo de organismos que contengan esta variante de la proteína Cry.

Una prueba de la variabilidad en los niveles de expresión de genes *Cry* introducidos a maíz son los estudios recientes (Buntin *et al.*, 2004) que indican que maíces como el Bt11 y el MON810 ofrecieron niveles aceptables de resistencia a *S. frugiperda* y a *Helicoverpa zea* (barrenador de la mazorca) en pruebas hechas en campos de Estados Unidos. Sin embargo, tal no fue el caso para el tipo de maíz 176 de Syngenta, aun cuando todas estas líneas expresan la misma proteína: Cry1A(b). Dichas diferencias en resistencia podrían deberse al nivel de expresión de Cry1A(b) y a su distribución en los tejidos de la planta, la cual es mayor y más ampliamente distribuida en el caso de Bt11 y MON810. Esto claramente indica que cada tipo de maíz transgénico tiene cualidades distintas y no debiera generalizarse el potencial de uno de ellos a otros tipos de maíz ni a otros países. En este sentido, hay que tomar en cuenta que entre los insectos potencialmente plaga en México, que también se distribuyen en Estados Unidos, existen poblaciones locales que varían bastante en cuanto a su resistencia a estas proteínas.

Si bien estas líneas de maíz transgénico podrían considerarse potencialmente útiles para su uso en Europa y Estados Unidos, en este último país ya han aparecido poblaciones de insectos resistentes a esta proteína (en Misisipi y Arkansas; Benbrook, 2009), a pesar de que para este tipo de transgénicos se ha implementado el uso de refugios con maíces que no expresan la proteína *Cry* para disminuir la evolución de plagas resistentes. Este hecho muestra que dicha tecnología no es sustentable a largo plazo. Por ello, es importante evaluar otro tipo de alternativas tecnológicas más sustentables y aptas para países con plagas diversas, como es el caso de México.

Efectos de los cultivos GM en el aumento del rendimiento

Dos de los argumentos con los que se ha promovido el uso de cultivos transgénicos son que aumentarían el rendimiento y reducirían el uso de agroquímicos. Ahora bien, antes de discutir casos concretos es importante señalar que aunque esto se ha aseverado reiteradamente, tanto los cultivos tolerantes a herbicidas como los cultivos resistentes a insectos no fueron diseñados para aumentar el rendimiento intrínsecamente; esto sería consecuencia secundaria de la capacidad de estas plantas de sobrevivir aspersiones de herbicida o resistir a ser comidos por ciertos insectos, respectivamente. Por lo tanto, para el caso de los cultivos

resistentes a insectos, un mayor rendimiento se observaría siempre y cuando éstos fueran una plaga y sólo si se compararan con plantas no transgénicas susceptibles al insecto plaga.

Es decir, dentro de un esquema de agricultura industrializada que utiliza muchos insumos y poca mano de obra, los transgénicos disponibles actualmente pueden contribuir a aumentar el rendimiento operacional,³ pero ninguno de ellos promueve el rendimiento intrínseco o potencial.⁴

Más aún, para determinar la contribución de los transgenes al rendimiento intrínseco o potencial, es necesario aislar los efectos de muchos otros factores que lo influyen, por ejemplo, el efecto de otros genes, condiciones específicas de crecimiento, el uso de pesticidas, rotación de cultivos, irrigación, calidad del suelo y clima; todo lo anterior no se ha hecho. Además, idealmente el contexto genético de las variedades GM y las que no lo son debería de ser idéntico excepto por la presencia o ausencia del transgén. En la práctica, sin embargo, esa identidad genética no es posible, aunque se puede aproximar en las llamadas variedades casi isogénicas. Aun así, muchos estudios han encontrado que el contexto genético es con frecuencia más importante que el transgén mismo en la determinación del rendimiento intrínseco.

En el caso del maíz transgénico sembrado en Estados Unidos, un análisis reciente de los datos de rendimiento existentes concluye que el maíz resistente a herbicida no parece proveer ningún aumento consistente en el rendimiento sobre otros sistemas libres de transgenes. El maíz transgénico generalmente logra controlar las malezas de manera equivalente a los sistemas no transgénicos, pero este control no necesariamente se traduce en mayor rendimiento. En algunos casos, cuando las variedades resistentes a herbicidas obtienen mayor rendimiento se piensa que esto más bien tiene que ver con el contexto genético y no con el transgén (ver: Gurian-Sherman, 2009). En este mismo estudio se observa que en lo que respecta a cultivos *Bt* resistentes a insectos, cuando la presencia del barrenador europeo del maíz se encuentra en niveles bajos o moderados existe muy poca diferencia en el rendimiento

³ Rendimiento operacional: el rendimiento real de un cultivo en ambientes verdaderos después de que se han tomado en cuenta daños por parte de plagas, estreses abióticos, preparación inadecuada del campo y eventos climáticos.

⁴ Rendimiento intrínseco: el mayor rendimiento, o nivel de producción que un cultivo puede alcanzar bajo condiciones ideales. También se conoce como rendimiento potencial.

de los cultivos *Bt* y sus contrapartes casi isogénicas. Cuando la plaga se encuentra en niveles altos, el maíz *Bt* muestra ventajas en el rendimiento de alrededor de 7% a 12%, sin embargo, la información actual no permite determinar el beneficio del rendimiento con el transgén, ya que para que las ventajas fueran sustanciales a gran escala todos los campos de cultivo *Bt* del país deberían estar altamente infestados por el barrenador, lo cual no sucede. Lo mismo ocurre con el gusano de la raíz (*Diabrotica virgifera*), el maíz *Bt* puede tener mayor rendimiento bajo presiones muy severas de la plaga y particularmente con condiciones climáticas poco favorables, sin embargo este efecto no es consistente.

Por otra parte, sin considerar las categorías de transgenes que proveen resistencia a malezas, insectos y virus, ninguna prueba experimental en campo en Estados Unidos ha conducido a la comercialización de variedades que hayan mostrado un impacto significativo en su rendimiento.

Cualquiera que sea la razón, los cultivos GM no han cambiado el curso de los aumentos en rendimiento alcanzados por medio de otras métodos, como los tradicionales o aquellos que promueven el cultivo selectivo con tecnologías moleculares, como la selección asistida por marcadores, ya que son muchos los genes involucrados en incrementar el rendimiento intrínseco, lo que hace poco probable que con las estrategias actuales de ingeniería genética, en donde se pretende que uno o pocos genes sean los responsables de una característica agronómica deseable, se logre generar cultivos transgénicos con esta característica u otras deseables, como tolerancia a crecer en suelos salinizados, tolerancia a la sequía, etcétera. De hecho, analizando los aumentos en el rendimiento de los cultivos se puede observar que las contribuciones de los OGM continúan siendo ampliamente ensombrecidas por otros métodos (Gurian-Sherman, 2009).

Biotecnología en un contexto geopolítico distinto o transgénicos sin fines de lucro

En la actualidad, la generación de cultivos transgénicos está dominada por compañías privadas y su uso casi por completo restringido a la agricultura industrializada de gran escala. En respuesta a esto, varios estudios han destacado la necesidad de que los gobiernos apoyen el desarrollo de tecnologías transgénicas para resolver problemas de los pequeños

agricultores de manera regional (Paterniani *et al.*, 2000). Han surgido organizaciones como CAMBIA (www.cambia.org/daisy/cambia/home.html) en Australia, con la iniciativa de innovar herramientas moleculares que sean mejoradas de manera libre y continua por los propios usuarios. Esta idea se inspira en el concepto del software libre u *open source*. En los Estados Unidos, PIPRA (www.pipra.org/) consolida la propiedad intelectual de más de 40 universidades, agencias públicas e institutos sin fines de lucro y apoya a las organizaciones humanitarias y comerciales de pequeña escala.

Dada la complejidad de métodos requeridos para desarrollar y manejar apropiadamente nuevos cultivos transgénicos, es poco probable que las iniciativas sin fines de lucro puedan ayudar a resolver problemas locales imponiendo menores riesgos que los causados por las grandes compañías si no cuentan con el apoyo de los gobiernos y de los aparatos de investigación gubernamentales. Por ejemplo, el concepto de refugios para el caso de cultivos *Bt* o las pruebas de inocuidad alimenticia para los productos transgénicos requieren toda una infraestructura y orden para que se lleven a cabo adecuadamente. En nuestro país, en estos momentos, no contamos con esta infraestructura (ver capítulo 13), además de tener una agricultura maicera compleja, en donde varios sistemas de producción de maíz se entrelazan (ver capítulos 7 y 17). El uso de maíz transgénico debe ser evaluado tomando en cuenta lo expuesto en este capítulo, así como las alternativas agrícolas que puedan resultar más útiles para el desarrollo sustentable a mediano y largo plazo de la agricultura en nuestro país.

Referencias

- Abel, P.P.; Nelson, R.S.; De, B.; Hoffman, N.; Rogers, S.G.; Fraley, R.T.; Beachy, R.N. (1986) Delay of disease resistance in transgenic plants that express the tobacco mosaic virus coat protein gene. *Science*, 232, 738-743.
- Al-Kaff, N.S. et al. (1998) Transcriptional and Postranscriptional Plant Gene Silencing in Response to a Pathogen. *Science*, 279, 2113-2115.
- Al-Kaff, N.S.; Kreike, M.; Covey, S.N.; Pitcher, R.; Page, A.M. and Dale, P.J. (2000) Plants rendered herbicide-susceptible by cauliflowerer

- mosaic virus-elicited suppression of a 35S promoter-regulated transgene. *Nature Biotechnology*, 18, 995-999.
- Álvarez-Buylla, E.R. y Piñeyro-Nelson, A. (2008) Riesgos y peligros de la dispersión de maíz transgénico en México. *Revista Ciencias, Facultad de Ciencias UNAM*, 92-93, 82-96.
- Assad, F. and Signer, E.R. (1990) .Cauliflower mosaic virus P35S promoter activity in E. coli. *Molecular and General Genetics*, 223,517-520.
- Barceló, P.; Rasco-Gaunt, S.; Thorpe, C.; Lazerri, P.A. (2001) Transformation and gene expression. *Advances in Botanical Research, Callow, J.A. (Ed) 34*, 54-126.
- Barton, K.,; Whitely, H.; Yang, N.S. (1987) Bacillus thuringiensis d-endotoxin in transgenic Nicotiana tabacum provides resistance to lepidopteran insects. *Plant Physiology*, 85, 1103-1109.
- Battraw, M.H., Hall, T.C. (1990) Histochemical analysis of CaMV 35S promoter-(glucuronidase gene expression in transgenic rice plants. *Plant Molecular Biology*, 15, 527-38.
- Bekkaoui, F.; Datla, R.S.S; Pilon, M. (1990) The effects of promoters on transient expression in conifer cell lines. *Theoretical and Applied Genetics*, 79, 353-359.
- Benbrook, C. (2009) Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use in the United States: the First Thirteen Years. *The Organic Center; Critical Issue Report, 64*, www.organic-center.org
- Bravo, A., Sarabia, S., Lopez, L., Ontiveros, E., Abarca, C., Ortiz, A., Ortiz, M., Lina, L., Villalobos, F., Peña, G., Nuñez-Valdez. M.E., Soberón, M., Quintero, R. (1998) *Characterization of cry genes in a Mexican Bacillus thuringiensis strain collection*. Applied and Environmental Microbiology 64, 4965-4972.
- Bucchini, L. and Goldman, L.R. (2002) Starlink corn: a risk analysis. *Environ Health Perspect*, 110, 5-13.
- Buntin, G.D.; Flanders, K.L.; Lynch, R.E. (2004) Assessment of Experimental Bt Events Against Fall Armyworm and Corn Earworm in Field Corn. *Journal of Economic Entomology* , 97(2) , 259-264.
- Finamore, A.; Roselli, M.; Britti, S.; Monastra, G.; Ambra, R.; Turrini, A.; Mengheri, E. (2008) Intestinal and peripheral immune response to MON810 maize ingestión in weaning and old mice. *J. Agric. Food Chem* ,56, 11533-11539.
- Gordon-Kamm, W. J., T. M. Spencer, M. L. Mangano, T. R. Adams, R. J. Daines, W. G. Start, J. V. O'Brien, S. A. Chambers, W. R. Adams Jr, N. G. Willetts, T. B. Rice, C. J. Mackey, R. W. Krueger, A. P. Kausch,

- and P. G. (1990) "Lemaux Transformation of Maize Cells and Regeneration of Fertile Transgenic Plants." *Plant Cell*, 2, 603-618.
- Gurian-Sherman, D. (2009) *Failure to Yield. Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops*. USA: Union of Concerned Scientists, 44. www.ucsusa.org
- Hetherington, P.R., Reynolds, T.L., Marshall, G., Kirkwood, R.C., (1999) The absorption, translocation and distribution of the herbicide glyphosate in maize expressing the CP-4 transgene. *Journal of Experimental Botany*, 50 (339), 1567-1576.
- Ho, M-W., Ryan, A., Cummins, J. (1999) Cauliflower Mosaic Viral Promoter-A Recipe for Disaster?. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 11(4), 194-197.
- Ho, M-W., Ryan, A., Cummins, J. (2000) Hazards of transgenic plants containing the cauliflower mosaic viral promoter Authors. Reply to critiques of The Cauliflower Mosaic Viral Promoter: a Recipe for Disaster?. *Microbial Ecology in Health and Disease*, 12(1), 6-11.
- Hull, R., Covey, N.S., Dale, P. (2000) Genetically Modified Plants and the 35S Promoter: Assessing the Risks and Enhancing the Debate. *Microb. Ecol. Health Dis*, 12(1), 1-5. www.biotech-info.net/enhancing_debate.html
- Jarvis, E.E. and Brown, L.M. (1991) Transient expression of firefly luciferase in protoplasts of the green alga *Chlorella*. *Current Genetics*, 17, 317-321.
- Kohli, A., Griffiths, S., Palacios, N., Twyman, R.M., Vain, P., Laurie, D.A., Christou, P. (1999) Molecular characterization of transforming plasmid rearrangements in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV 35S promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination. *The Plant Journal*, 17, 591-601.
- Lewin, A., Jacob, D., Freytag, B., Appel, B. (1998) Gene expression in bacteria directed by plant-specific regulatory sequences. *Transgenic research*, 7, 403-411.
- Myhre, M.R., Fenton, K.A., Eggert, J., Nielsen, K.M. and Traavik, T. (2006) The 35S CaMV plant virus promoter is active in human enterocyte-like cells. *Eur Food Res Technol*, 222, 185-193.
- Ow, D.W., Jacobs, J.E., Howell, S.H. (1987) Functional regions of the cauliflower mosaic virus 35S RNA promoter determined by use of the firefly luciferase gene as a reporter of promoter activity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 84(14), 4870-4874.

- Paterniani, E., Pérez, F., Reinach, F., Tundisi, J.G., Xu, Z., Fang, R., Yingqian, Q., Sharma, R.P., Sopory, S., Larson, J., Nieto, J., Sarukhán, J., Heap, B., Klug, A., Gale, M., Lipton, M., Akhtar, M., Alberts, B., Rowland, S., Sequeira, L., Cook, J., McCalla, A. (2000) *Transgenic Plants and World Agriculture*. Washington, D.C: National Academy Press, 40. <http://books.nap.edu/catalog/9889.html>
- Qin, X.F., Holuigue, L., Horvath, D.M. & Chua, N. (1994) Immediate early transcription activation by salicylic acid via the cauliflower mosaic virus as-1 element. *Plant Cell.*, 6, 863-874.
- Séralini, G.E., Spiroux de Vendomois, J., Cellier, D., Sultan, C., Buiatti, M., Gallagher, L., Antoniou, M., Dronamraju, K.R. (2009) How Subchronic and Chronic Health Effects can be Neglected for GMOs *Pesticides or Chemicals*. *Int. J. Biol. Sci.*, 5(5), 438-443.
- Séralini, G-E., E. Clair, R. Mesnage, S. Gress, N. Defarge, M. Malatesta, D. Hennequin, J. Spiroux de Vendômois. (2012). *Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize*. *Food Chem. Toxicol.*
- Schubert, D. (2002) A different perspective on GM food. *Nat. Biotech.*, 20(10), 969.
- Shukla, V.K., Doyon, Y., Miller, J.F., DeKelder R.C., Moehle, E.A., Worden, S.E., Mitchell, J.H., Arnold, N.E., Gopalan, S., Meng, X., Choi, V.M., Rock, J.M., Wu, Y., Katibah, G.E., Zhifang, G., McCaskill, D., Simpson, M.A., Blakeslee1, B., Greenwalt, S.A., Butler, H.J., Hinkley, S.J., Zhang, L., Rebar, E.J., Gregory, P.D., Urnov, F.D. (2009) Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature*, 459, 437-442.
- Spiroux de Vendomois, J., Roullier, F., Cellier, D., Séralini, G.E. (2009) A Comparison of the Effects of Three GM Corn Varieties on Mammalian Health. *Int. J. Biol. Sci.*, 5(7), 706-726.
- Steinbrecher, R.A. (2002) *The CaMV 35S Promoter Government and Corporate Scientific Incompetence: Failure to assess the safety of GM crops*. Briefing December.
- Vázquez-Padrón, R.I., Moreno-Fierros, L., Neri-Bazan, L., Martínez-Gil, A.F., López-Revilla, R. (2000) Characterization of the mucosal and systemic immune response induced by Cry 1 Ac protein from *Bacillus thuringiensis* HD 73 in mice. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 33, 147-55.



CAPÍTULO 3 FLUJO GÉNICO



Valeria Alavez, Ana Wegier y Alma Piñeyro Nelson

¿Qué es el flujo génico?

Las poblaciones de una especie, generalmente, intercambian genes entre ellas en mayor o menor medida. En este proceso, que se denomina flujo génico, los genes pueden ser transportados por individuos (como la mayoría de los animales) o por gametos (como el polen o las gametas de muchos organismos marinos). Los migrantes que tienen éxito en reproducirse en su nueva población y dejan descendencia en la siguiente generación son aquellos que contribuyen al flujo génico (Futuyma, 2005).

El flujo génico es un componente principal de la estructura poblacional, ya que determina hasta qué punto cada población local de una especie es una unidad evolutiva independiente. Si existe una gran cantidad de flujo génico entre poblaciones locales, entonces todas ellas evolucionan juntas; pero si hay poco flujo génico, cada población evoluciona en forma casi independiente (Slatkin, 1995). Por lo tanto, el flujo génico homogeniza las poblaciones de una especie, es decir, las conduce a tener las mismas frecuencias alélicas, a menos que exista suficiente oposición de otras fuerzas divergentes como la deriva génica y la selección natural (Futuyma, 2005).

Las características de una especie afectan mayormente su capacidad de dispersión y flujo génico. Por ejemplo, es más grande entre organismos con mayor capacidad de movimiento como las mariposas monarca,

los mejillones y otros invertebrados marinos de larvas planctónicas que son transportadas a grandes distancias por las corrientes. Aunque muchas especies migratorias como los salmones o las aves tienen una gran capacidad de desplazarse distancias largas, se suelen aparear cerca de su sitio de nacimiento, formando poblaciones genéticamente distintas, razón por la cual es muy importante conocer a fondo la biología de las especies y su estructura genética cuando se quieren realizar estrategias para la conservación de las especies, estudios de análisis de riesgo o diseñar medidas de bioseguridad.

Hibridación e introgresión

El proceso de hibridación se puede definir, desde un punto de vista biológico y evolutivo, como la cruce entre individuos pertenecientes a poblaciones genéticamente diferentes. La hibridación frecuentemente conduce a un proceso conocido como introgresión, el cual consiste en la incorporación de genes de un taxón a otro o a más poblaciones (Ellstrand, 2003). La hibridación y la introgresión son subconjuntos del flujo génico, definido por Futuyma (2005) como “la incorporación de genes a la poza genética de una población a partir de otra población u otras más”. Las consecuencias evolutivas de la hibridación pueden ser profundas, por ejemplo, puede actuar como un medio para el escape de genes de cultivos genéticamente modificados (transgenes) a las poblaciones naturales de las plantas, lo cual presenta problemas potenciales como la evolución de supermalezas, la pérdida de valioso germoplasma en centros de diversidad y la introgresión de transgenes a las poblaciones naturales, que es el impacto ambiental potencial más frecuentemente discutido en el ámbito de la biotecnología de plantas. Estas preocupaciones se intensifican por el hecho de que contaminantes, como químicos nocivos o la radioactividad, generalmente decaen con el tiempo, mientras que los transgenes no necesariamente decaerán en el ambiente, por el contrario, éstos pueden aumentar su frecuencia al paso del tiempo, si los organismos en los que ellos residen tienen éxito en reproducirse y pasar sus genes a las siguientes generaciones.

El impacto de los genes de los cultivos en las poblaciones silvestres es una cuestión que atañe a cualquier variedad de planta cultivada, transgénica o no. Por lo tanto, la experiencia histórica de los cultivos mejorados con métodos tradicionales puede aportar lecciones valiosas

para predecir la probabilidad de escape de transgenes hacia el medio silvestre y las consecuencias de su presencia en éste. El conocimiento del impacto de los transgenes escapados requiere, en primer lugar, un conocimiento del movimiento de los genes domesticados a las poblaciones naturales y su impacto en dichas poblaciones.

Generalmente, se supone que la hibridación espontánea, en la cual los alelos domesticados son capaces de entrar a las poblaciones silvestres, ocurre cuando el polen de una planta domesticada fertiliza una planta silvestre. El progenitor (macho) que aporta el polen puede ser una planta en cultivo, un voluntario que se quedó de una plantación anterior, una planta escapada recientemente de cultivo o inclusive una planta que creció al margen de la carretera al germinar de una semilla que accidentalmente cayó del vehículo que la transportaba. Podemos suponer que el polen de esta planta, generalmente transportado por un insecto o el viento, dependiendo de su síndrome de dispersión, encuentra su camino a la flor de un pariente silvestre. La planta silvestre, actuando como el progenitor (hembra) de la semilla, puede crecer junto a la planta domesticada, en un campo adyacente o a una distancia sorprendentemente lejana del origen del polen (Ellstrand, 1999 y 2003).

Una ruta alternativa de la hibridación puede involucrar una planta silvestre, que actúa como el progenitor del polen, y una cultivada, como progenitor de la semilla. En este caso, el polen encuentra su camino para fertilizar la planta cultivada. La semilla híbrida resultante puede caer al suelo y germinar, o bien ser intencionalmente sembrada. Si el híbrido se encuentra germinando y creciendo entre o cerca de otros híbridos naturales o de plantas silvestres genéticamente puras, entonces puede fungir como progenitor del polen y los genes de la planta domesticada pueden todavía entrar al pool genético de las poblaciones naturales (Ellstrand, 1999 y 2003).

Escenarios más complejos son posibles. Los mejoradores de plantas en ocasiones emplean una tercera especie como “puente genético” para mover genes de especies que no son compatibles entre sí, pero que pueden hibridar con la especie que se usa como puente (Ellstrand, 1999 y 2003); lo mismo sucede en el campo, por ejemplo, con especies de algodón (ver más adelante).

La terminología básica para nombrar a los híbridos y los descendiente híbridos inmediatos es la siguiente: si la cruce entre plantas domesticadas y plantas silvestres es exitosa, los individuos de su progenie serán propiamente llamados “híbridos” o en notación genética F_1 .

Algunas veces dicha progenie se denomina “híbridos de primera generación” para distinguirla de los individuos de generaciones posteriores. Si los híbridos de primera generación son fértiles y tienen progenie, estos individuos tendrán una designación específica dependiendo de la identidad de sus padres. Cruzas *híbrido X híbrido* ($F_1 \times F_1$), incluyendo la autofertilización de F_1 , resultarán en progenie F_2 , cuyos individuos también se llaman “segregantes” o “híbridos de segunda generación”. Pero si un híbrido de primera generación se cruza con una de las especies parentales, su progenie será la “retrocruza de primera generación” o B_1 . Una cruce entre una retrocruza de primera generación y la misma especie parental produce la “retrocruza de segunda generación” o B_2 . Generaciones adicionales de retrocruzas se denominan B_3 , B_4 , etc. De individuos cuya historia genética involucra múltiples eventos de retrocruza durante varias generaciones se dice que son producto de un proceso de introgresión (Ellstrand, 1999 y 2003).

Las plantas cultivadas naturalmente se cruzan con sus parientes silvestres. De hecho, la hibridación espontánea entre un cultivo dado y al menos uno de sus parientes silvestres es la regla y no la excepción como en algún momento se pensó (Tabla 5.1), por lo tanto no podemos esperar que las plantas transgénicas se comporten de manera diferente (Ellstrand, 1999 y 2003).

¿Cómo se estudia el flujo génico?

Los métodos para estimar el flujo génico en poblaciones naturales se dividen en directos e indirectos (Slatkin, 1985). Los métodos directos son aquellos que implican observaciones detalladas de la especie o experimentos que miden el grado de dispersión. Por ejemplo, las mediciones de la distancia a la que se dispersan las semillas o el polen, el seguimiento de los dispersores y, cuando es posible la liberación y recaptura de individuos, son datos que pueden proveer estimaciones de la distancia promedio entre el punto de liberación y el punto de recaptura; las estimaciones de las distancias de dispersión pueden ser convertidas en estimaciones del flujo génico si se asume que los individuos que se dispersan poseen las mismas oportunidades de aparearse que los residentes. También es posible seguir el progreso de alelos distintivos al interior de una población que no contiene dichos alelos, mostrando por tanto que el flujo génico ha ocurrido, como sería el caso de los transge-

nes (Handel, 1982). Un método ligeramente diferente es la utilización de métodos genéticos para la determinación de la paternidad y para computar la distancia entre los progenitores y sus descendientes (Ehrlich y Raven, 1969, Ellstrand y Marshall, 1985).

Las estimaciones directas indican los detalles de la dispersión, incluyendo el periodo en la historia de vida de la especie en el cual ocurre la migración, sin embargo, siempre están sujetas a las condiciones espacio-temporales en que fueron realizadas las mediciones y, por lo tanto, son muy sensibles al diseño experimental y no son extrapolables a otras condiciones ambientales (por ejemplo a diferentes años) ni a otros espacios geográficos.

Los métodos indirectos son aquellos que utilizan observaciones de las frecuencias alélicas u otras características medibles de las especies para deducir qué cantidad de flujo génico ocurrió en el pasado y que produjo los patrones espaciales observados en la actualidad. Los métodos indirectos dependen de modelos matemáticos que predicen los patrones que se observarían con diferentes tasas de flujo génico.

Las estimaciones indirectas tienen la ventaja de que incorporan los efectos de todos los tipos de dispersión y promedian en forma efectiva las variaciones en la dispersión a lo largo del tiempo. La desventaja es que dependen de supuestos sobre los procesos que afectan las frecuencias alélicas, y estos supuestos no pueden ser probados en forma independiente. Por ejemplo, las estimaciones indirectas asumen que la especie se encuentra en equilibrio genético y demográfico, algo que puede no ser cierto. Sin embargo, las características que se han heredado de generación en generación, sin importar, por ejemplo, las causas de la dispersión, la distancia y dirección a la que viajan los polinizadores y los eventos climáticos, están promediadas en los valores que se obtienen.

Numerosos estudios han aplicado tanto los métodos directos como los indirectos a poblaciones naturales. Al utilizar cada método en forma separada se obtiene información acerca de la especie estudiada, pero en ausencia de otros conocimientos acerca de la misma es difícil saber qué es lo que verdaderamente se está aprendiendo. Los estudios en los cuales se han utilizado métodos directos e indirectos sugieren que las especies se ubican, a grandes rasgos, en tres categorías (Slatkin, 1993). La primera contiene las especies que los estudios directos indican que poseen una gran capacidad de dispersión y que en los estudios indirectos muestran altos niveles de flujo génico. Muchas especies de aves son de

este tipo (Barrowclough y Johnson, 1988). La segunda categoría contiene las especies que tanto los métodos directos como indirectos indican que poseen una dispersión muy baja. Algunas especies de salamandras pertenecen este grupo (Slatkin, 1987). La tercera categoría contiene las especies para las cuales los estudios directos indican que la dispersión ocurre en distancias muy cortas, pero los estudios indirectos indican que hay un flujo génico sustancial a distancias mucho más grandes.

Hay dos explicaciones para la diferencia entre las estimaciones directas e indirectas del flujo génico (Slatkin, 1987). Una es que la dispersión es altamente variable en el tiempo. Puede ser que en los estudios directos se pierdan los eventos de dispersión raros, que son los responsables de los altos niveles de flujo génico hallados en los estudios indirectos. Esto es probablemente cierto para algunas especies debido a que la dispersión a largas distancias puede ser provocada por condiciones ecológicas inusuales que favorecen el flujo genético, como lo serían huracanes, cambios en las corrientes marítimas o cualquier condición climática que no podemos percibir fácilmente pero que pueda influir en el flujo genético.

Otra explicación es que estas especies no se encuentran aún en equilibrio genético bajo sus actuales condiciones demográficas. Este sería el caso si, por ejemplo, la especie hubiera expandido recientemente su distribución geográfica. Sabemos que este proceso puede ocurrir muy rápidamente (Templeton, 2006).

El que una especie se encuentre o no en equilibrio genético es de interés para comprender su potencial evolutivo. El flujo génico puede restringir la evolución de las poblaciones impidiendo la adaptación a las condiciones locales, aunque si una especie no se encuentra en equilibrio bajo los niveles actuales de flujo génico, entonces la selección no está restringida por el flujo génico y las adaptaciones locales pueden evolucionar (Slatkin y Hudson, 1991).

Flujo génico entre plantas cultivadas y sus parientes silvestres

Algunos de los cultivos sólo hibridan con miembros de la misma especie, pero otros pueden llevar a cabo hibridación interespecífica (Massinga *et al.*, 2003), y existe evidencia que demuestra que dicho flujo génico ha servido como un estímulo para la evolución de malezas más persistentes e invasivas o bien ha incrementado el riesgo de extinción por hibridación

Tabla 5.1 Cultivos importantes a nivel mundial que hibridan con sus parientes silvestres (Ellstrand, 2003).

Cultivo	Nombre Científico	Cultivo	Nombre Científico
Aguacate	<i>Persea americana</i>	Girasol	<i>Helianthus annuus</i>
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	Junípero	<i>Juniperus chinensis</i>
Algodón pima	<i>Gossypium barbadense</i>	Lechuga	<i>Lactuca sativa</i>
Algodón mexicano	<i>Gossypium hirsutum</i>	Maíz	<i>Zea mays ssp. mays</i>
Arroz	<i>Oryza glaberrima</i>	Manzana	<i>Malus x domestica</i>
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	Mijo menor	<i>Setaria italica</i>
Avena	<i>Avena sativa</i>	Mijo perla	<i>Pennisetum glaucum</i>
Azalea	<i>Rhododendron catawbiense</i>	Navo silvestre	<i>Brassica campestris</i>
Betabel	<i>Beta vulgaris</i>	Nogal	<i>Juglans regia</i>
Cacao	<i>Theobroma cacao</i>	Olmo de Siberia	<i>Ulmus pumila</i>
Café	<i>Coffea arabica</i>	Papa	<i>Solanum stenotomum</i>
Calabaza	<i>Cucurbita pepo</i>	Papa	<i>Solanum tuberosum</i>
Canola	<i>Brassica napus</i>	Plátano	<i>Musa acuminata</i>
Caña de Azúcar	<i>Saccharum officinarum</i>	Quinoa	<i>Chenopodium quinoa</i>
Centeno	<i>Secale cereale</i>	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>
Césped	<i>Agrostis stolonifera</i>	Salsifí	<i>Tragopogon porrifolius</i>
Césped inglés	<i>Lolium perenne</i>	Sandía	<i>Citrullus lanatus</i>
Champiñón común	<i>Agaricus bisporus</i>	Sorgo	<i>Sorghum bicolor bicolor</i>
Cocona	<i>Solanum sessiliflorum</i>	Soya	<i>Glycine max</i>
Fetusca	<i>Festuca pratensis</i>	Trigo	<i>Triticum aestivum</i>
Frambuesa	<i>Rubus idaeus</i>	Trigo	<i>Triticum turgidum durum</i>
Fresa	<i>Fragaria x ananassa</i>	Uva	<i>Vitis vinifera</i>
Frijol común	<i>Phaseolus vulgaris</i>	Yuca	<i>Manihot esculenta</i>

(Ellstrand, 1999 y 2003). Por ejemplo, la hibridación interespecífica del sorgo comercial (*Sorghum bicolor*) y el sorgo silvestre (*Sorghum propinquum*) resultó en el pasto Johnson (*Sorghum halepense*), una de las peores malezas del mundo. La hibridación del rábano cultivado (*Raphanus sativus*) y una maleza pariente generó el rábano silvestre (*Raphanus raphanistrum*), una maleza que ha provocado muchos problemas en el oeste de Estados Unidos (Ellstrand, 1999 y 2003).

A continuación se describen las evidencias obtenidas en investigaciones previas sobre flujo génico entre algunos de los cultivos más importantes y plantas cultivadas de la misma especie o con sus parientes silvestres. Comenzado con los antecedentes de maíz y algodón, de las cuales México es centro de origen y biodiversidad, para continuar con el girasol, del cual aún se debate si el centro de origen fue Estados Unidos o México, aunque probablemente sean ambos, sin olvidar la canola, de la cual nuestro país alberga gran cantidad de parientes silvestres con los que puede hibridar; finalmente, la soya y el arroz, de donde se desprenden experiencias muy interesantes sobre escape de genes y malezas resistentes a consecuencia del flujo génico.

Flujo génico de maíz GM a maíces nativos en México

El primer reporte sobre presencia de transgenes en razas nativas de México fue publicado en 2001 por los investigadores Quist y Chapela. En este reporte se presentaron datos que corroboraban la presencia de secuencias como el promotor 35S y el terminador NOS en maíces de la Sierra Norte de Oaxaca colectados en 2000 (Quist y Chapela, 2001). A partir de la publicación de este artículo, que causó gran revuelo a nivel internacional, ya que desde 1998 se había implantado una moratoria *de facto* a la siembra en campo de maíz transgénico en México, funcionarios de las secretarías de medio ambiente y agricultura en México (SAGARPA Y SEMARNAT, respectivamente) se dieron a la tarea de colectar maíz en diferentes partes del país. Desde el Instituto Nacional de Ecología de SEMARNAT se encomendó a investigadores de un laboratorio del CINVESTAV y otro de la UNAM el análisis de muestras de maíz colectadas en la Sierra Norte de Puebla, la Sierra Norte de Oaxaca y la mixteca oaxaqueña. Los resultados preliminares de esta investigación fueron dados a conocer en un reporte de la OCDE en 2001 (Ezcurra *et al.*, 2001). Los resultados finales de esta colecta fueron publicados en revistas científicas hasta 2009, pero

en el intervalo, diversos actores —funcionarios de gobierno, asociaciones civiles, investigadores— realizaron colectas de maíz en varias partes del país (para un recuento de estos muestreos, ver: Mercer y Wainwright, 2008). Por su parte, la SAGARPA llevó a cabo al menos dos muestreos en 2002, pero los resultados no se han hecho públicos.

En cuanto a los muestreos realizados por estos grupos de investigación, podemos dividirlos en dos categorías: aquellos realizados en la Sierra Norte de Oaxaca y aquellos realizados en otros estados. En el primer caso, además del muestreo realizado en 2001 por parte de INE/CONABIO, funcionarios del INE y CONABIO realizaron en 2003 y 2004 colectas de semilla de maíz en comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca. Los resultados de estas colectas, publicados en 2005, eran todos negativos para presencia de transgenes en los acervos de maíz muestreados (Ortiz-García *et al.*, 2005a). Dado que sólo tres años antes se había reportado presencia de transgenes en esta misma zona (Quist y Chapela, 2001), las posibles interpretaciones que dichos autores dieron a sus resultados fueron: 1) los transgenes habían desaparecido de los acervos de maíz en tan sólo tres años, 2) que éstos seguían presentes pero en frecuencias bajísimas, prácticamente indetectables, o 3) nunca había habido transgenes. La publicación de estos resultados llevó a varios investigadores a concluir que la dispersión de transgenes en México podía ser controlada o “diluida” en una población de maíz de manera relativamente sencilla, por lo que su presencia en acervos de maíz nativo no era problemática (como ejemplo, ver Raven, 2005).

A pesar de que otros señalaron que esta publicación tenía errores metodológicos y de muestreo importantes (Cleveland *et al.*, 2005), Ortiz-García y sus colaboradores contestaron a las críticas (Ortiz-García *et al.*, 2005b), sin embargo la presencia o ausencia de transgenes en esta parte del territorio mexicano siguió en controversia hasta la publicación de los resultados de la colecta INE/CONABIO de 2001 y otras colectas adicionales (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a). En este artículo se corroboró la presencia de transgenes en 3 de las 23 localidades colectadas en 2001 por INE/CONABIO, además de presentar datos de un muestreo de 2004 en dos de estas tres comunidades positivas que corroboraban la presencia de secuencias transgénicas en maíces nativos. Adicionalmente, se hizo un análisis de genética de poblaciones para explicar las discrepancias en el método de muestreo entre la publicación de 2005 y ésta, mientras que se presentó evidencia de falsos negativos en análisis de laboratorio con pruebas de PCR realizadas por un laboratorio comercial: GeneticID

(Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a). Los resultados de PCR de este artículo fueron criticados por personal de GeneticID (Schoel y Fagan, 2009), a lo que Piñeyro-Nelson y colaboradores respondieron presentando pruebas independientes de presencia de transgenes en las muestras bajo controversia, así como evidencia de que una de las pruebas de elección para realizar biomonitoreo de OGM, la prueba de PCR cuantitativa, puede generar resultados no interpretables (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009b). Con estos resultados, la presencia de transgenes en algunas comunidades de la Sierra Norte de Oaxaca, por lo menos hasta 2004, quedó corroborada.

En la segunda categoría de esfuerzos de biomonitoreo realizados en otras partes del país, en 2007 se publicó un artículo donde se informó de la presencia de transgenes en maíces nativos sembrados en los suelos de conservación de la Ciudad de México (Serratos-Hernández *et al.*, 2007), y en 2009 se publicaron los resultados de otra investigación que reportaba presencia de transgenes en comunidades puntuales de los estados de Guanajuato, Veracruz, Oaxaca y Yucatán (Dyer *et al.*, 2009).

Un resultado adicional de la investigación de Dyer (2009) y colaboradores es que, si bien se detectaron transgenes en diversas comunidades de México, éstos se encuentran muy localizados y su dispersión posterior podría ser controlada.

Algodón

Cuatro especies de algodón han sido domesticadas y las más importantes son las tetraploides, *Gossypium hirsutum* y *Gossypium barbadense*, que habitan en América e hibridan en algunas áreas de Centroamérica y el Caribe, donde viven en simpatria. Con base en caracteres morfológicos, Fryxell (1979 en Ellstrand 2003) sugirió, que tanto *Gossypium darwinii* en las Islas Galápagos como *Gossypium tomentosum* en las Islas Hawaianas (especies también tetraploides) están en peligro de extinción por causa de la hibridación con *Gossypium hirsutum*. La presencia de alelos específicos (aloenzimas) de *Gossypium hirsutum* confirmó el proceso de introgresión que *Gossypium darwinii* ha experimentado. Este caso es muy interesante, ya que el flujo génico no parece venir directamente de *Gossypium hirsutum*, sino de su hibridación con poblaciones de *Gossypium barbadense* que sostuvieron previamente introgresión con *Gossypium hirsutum*. Esta situación constituye un “puente” de introgresión natural, lo cual no está muy documentado (Ellstrand, 2003). La quinta especie tetraploide (que

contiene 4 copias de cada cromosoma) de este género es endémica del noroeste de Brasil, *Gossypium mustelinum*, en la cual también se ha documentado la introgresión con algodones domesticados de las especies *Gossypium hirsutum* y *Gossypium barbadense* (Brubaker y Wendel, 1994).

Es poco probable que las especies diploides (que contiene 2 copias de cada cromosoma) de este género, dos domesticadas en África y Asia, *Gossypium arboreum* y *Gossypium herbaceum* respectivamente, y 43 especies silvestres distribuidas en América, África, Asia y Oceanía, puedan hibridar con las especies tetraploides, aunque artificialmente se ha logrado formar hexaploides estables y se continúan las investigaciones al respecto con *Gossypium hirsutum* y algunas especies australianas (Becerra y Brubaker, 2007).

Dispersión de las semillas a larga distancia y tasas de entrecruzamiento

El principal mecanismo de dispersión del género *Gossypium* es la migración de las semillas. Esta vía se ha repetido incluso transoceánicamente en varias ocasiones en su historia, además de que se ha demostrado que las semillas pueden germinar después de permanecer tiempos prolongados en agua salada, lo que hace pensar que los eventos de introgresión descritos anteriormente fueron originados por la migración y establecimiento de semillas y un posterior contacto secundario por entrecruzamiento.

El entrecruzamiento en la especie *Gossypium hirsutum* se ha estudiado por métodos directos en casi todos los países con cultivos extensivos desde principios del siglo pasado. A este respecto, surgen tres factores interesantes: el primero es una característica de todos los estudios de flujo directo y es que éstos están sujetos únicamente a las condiciones espacio temporales en las que fueron realizados, por lo que no se pueden generalizar sus resultados, sin embargo hay un claro patrón hacia la disminución del entrecruzamiento reportado. A finales del siglo XIX y principios del XX las tasas oscilaban entre el 90 y el 30%, mientras que a finales del mismo los reportes oscilan entre el 3 y 0.3%. Es evidente que la presencia de polinizadores es afectada por los insecticidas que comenzaron a utilizarse en gran escala, aumentando además con el paso del tiempo su letalidad y tecnologías para mejorar la efectividad. Además, las técnicas y herramientas de estudio han variado, por

lo que los datos son poco comparables. Segundo, es posible que una intensa presión selectiva sobre la autopolinización esté favoreciendo estos resultados, sin embargo, imaginando que la autoincompatibilidad sea menor en las plantas domesticadas que en las silvestres, los niveles de entrecruzamiento cuando estén presentes los polinizadores puede permanecer sin cambio. Esto es importante ya que en el caso de plantas voluntarias fuera de cultivares o escapadas en otros sitios puede existir alta probabilidad de flujo génico. Tercero, los estudios realizados fuera de los centros de origen y diversidad de las especies pueden aportar información para realizar investigaciones que aporten información sobre el flujo que puede ocurrir en el área pero se debe ser muy cauteloso ya que esa información no debe ser utilizada en análisis de riesgo, ya que puede ser una guía pero no necesariamente aportar información extrapolable. En resumen, estos tres factores indican que la probabilidad de entrecruzamiento debe ser estimada en los sitios donde se realizan las liberaciones en cualquier lugar del mundo, considerando las condiciones espacio temporales y bajo ninguna circunstancia subestimada.

En México, desde 1996, se cultiva algodón genéticamente modificado de la especie *Gossypium hirsutum* de la cual es Centro de origen y diversidad. Aunque las autorizaciones se han otorgado principalmente en el norte del país, los subproductos como las semillas se venden en todo el territorio como alimento para ganado.

El algodón *Gossypium hirsutum* en su centro de origen

La especie *Gossypium hirsutum* constituye 95% de la producción mundial de algodón y es endémica de Mesoamérica. Habita en áreas con gran insolación y poca competencia, por lo que es pionera en áreas con poca vegetación que pueden ser perturbadas por causas naturales (riscos, incendios, etcétera) o artificiales (bordes de carreteras, pastizales, basureros, etcétera), principalmente ecosistemas costeros y selvas bajas. Forma parches o subpoblaciones de pocas plantas que pueden extinguirse y recolonizarse temporalmente y que a su vez forman grandes metapoblaciones (Wegier *et al.*, 2011). Se distribuye desde Centroamérica hasta el sur de Baja California Sur y Sinaloa en la costa del Océano Pacífico y desde la Península de Yucatán hasta el sur de Tamaulipas en la costa del Golfo de México, además de las islas del Caribe (Fryxel 1979; Wegier *et al.*, 2011).

Los permisos para la liberación de *Gossypium hirsutum* GM en México se han otorgado desde 1996, principalmente, en el norte del país. Las bases que se utilizaron para otorgar las primeras liberaciones fueron estudios sobre el entrecruzamiento en plantas cultivadas fuera del centro de origen y los ejemplares disponibles en los herbarios.

Las investigaciones sobre las poblaciones silvestres de esta especie comenzaron en 2002 con el objetivo de conocer la estructura genética y geográfica de las mismas, así como los patrones históricos que las formaron, con especial interés en el flujo génico histórico entre las poblaciones, ya que este podría ayudar al diseño de estrategias para prevenir el flujo de transgenes. Sin embargo, los resultados sobre el flujo génico indicaban que éste era mucho mayor a lo esperado, tanto, que lo que afecte a una población en relativamente poco tiempo pudiera afectar a la mayoría. Como los marcadores moleculares que se utilizaron migran con las semillas, este resultado indica que el flujo se da por esta vía y después hay contacto secundario por entrecruzamiento. Esta interpretación histórica fue confirmada además por evidencia reciente, ya que la presencia de transgenes de la especie en México es de 15 años, y éstos se localizaron en cuatro de las ocho metapoblaciones mexicanas (Wegier *et al.*, 2011). Otro resultado relevante es que las plantas cultivadas presentan la misma combinación de marcadores utilizados (microsatélites de cloroplasto), mientras que en los silvestres se localizaron 46 combinaciones (45 exclusivas de silvestres y el cultivado), siendo muy interesante que la combinación cultivada puede localizarse en siete de las ocho metapoblaciones, pero los transgenes se localizan en plantas con combinaciones silvestres, evidenciando la introgresión con las mismas. Finalmente, uno de los transgénicos liberados en México contiene dos transgenes *Cry1ab/ac* y *Cry2ab*, y otro contiene sólo *Cry1ab/ac*, pero el transgénico con el *Cry2ab* solo no es un evento comercial y lo encontramos así en las poblaciones, por lo que se necesitan más estudios para conocer a detalle el proceso de pérdida de función de los transgenes (Wegier *et al.*, 2011). También se encontró la combinación de cuatro transgenes diferentes, que no se venden juntos, en un solo individuo; esto se explica fácilmente porque no sabemos hace cuánto tiempo hay flujo pero si éste es abundante, el conjunto de transgenes que habrá en los individuos tiene altas probabilidades de variar respecto a los conjuntos originales comerciales e incluso, como en este caso apilarse, o acumularse en los genomas (Wegier *et al.*, 2011).

Girasol: un ejemplo de flujo genético e introgresión en el complejo silvestre-maleza-cultivo

El girasol (*Helianthus annuus* L.) se cultiva en las regiones templadas del mundo, particularmente en Europa, Sudamérica y Asia (Ellstrand, 2003). Su pariente silvestre más cercano es una planta silvestre de la misma especie, cuyas poblaciones se extienden como malezas a lo largo de Norteamérica, al igual que otras especies endémicas de mismo género con las cuales también existe evidencia morfológica y molecular de que sostiene hibridación espontánea e introgresión (e.g. *H. petiolaris*, Rieseberg, 1999; Stratsburg y Rieseberg, 2008; *H. argophyllus* y *H. petiolaris*, Kane *et al.*, 2009; *H. debilis*, Scascitelli *et al.*, 2010), lo cual sucede, principalmente, por la sobreposición de los periodos de floración y porque comparten los mismos polinizadores (Ellstrand, 2003). Por otra parte, es común que en la práctica agrícola ocurra pérdida de semillas y éstas, denominadas “voluntarias” germinen en años subsecuentes. Las plantas voluntarias, que presentan características de maleza y pueden establecerse como poblaciones asilvestradas, contribuyen al flujo génico entre las cultivadas y las silvestres, fungiendo como un puente (Reagon y Snow, 2006).

En México se detectó hibridación espontánea entre *H. annuus* silvestre y cultivado a tasas sustanciales y a largas distancias (hasta 1 km), medidas por métodos directos (Arias y Rieseberg, 1994). En general, la adecuación de estos híbridos se reduce: las plantas poseen menos ramas, flores y semillas que las silvestres, y las semillas híbridas son más propensas a ser comidas por los insectos. Sin embargo, la adecuación reducida no es una barrera para la introgresión; aunque se disminuye, la evidencia empírica muestra que existe introgresión sustancial de alelos cultivados a las plantas silvestres y que esto puede estar vinculado con el incremento en su capacidad de invadir y persistir como maleza (Ellstrand, 2003; Presotto *et al.*, 2011). De hecho, el girasol resistente a herbicida (imidazolinona), modificado por métodos tradicionales, se cruza con el girasol común silvestre (*H. annuus*), y con el de la pradera (*H. petiolaris*) y las retrocruzas con los progenitores silvestres son exitosas, lo cual refleja el potencial de dispersión de la resistencia a plantas silvestres y escapadas (Massinga, *et al.*, 2003).

Por otra parte, los efectos en la adecuación del transgén *Bt* de girasoles cultivados fueron estudiados en híbridos de *H. annuus* cultivado y silvestre. Se realizaron retrocruzas de los híbridos (girasol transgénico

Bt X girasol silvestre) con el progenitor silvestre. La primera generación de la retrocruza se analizó tanto en campo como en invernadero. En el campo, el daño a las semillas producido por los lepidópteros se redujo en los híbridos portadores del transgén, lo que resultó en un aumento en la producción, mientras que en el invernadero se observó que la presencia del transgén no tuvo ningún efecto en la fecundidad. Estos datos sugieren que el transgén *Bt* se dispersaría rápidamente en las poblaciones silvestres de girasol, aunque no necesariamente resultaría en un aumento en su persistencia o capacidad de invadir; no obstante, sí podría provocar la reducción del tamaño poblacional de los lepidópteros nativos susceptibles o que los herbívoros especialistas desarrollaran resistencia a la toxina. Más estudios son necesarios para probar estas posibilidades (Snow *et al.*, 2003).

Canola

Dos especies producen el aceite de canola: *Brassica rapa* L., que parece haber experimentado dos eventos de domesticación independientes, uno en la región mediterránea de Europa y otro en Asia, al este de Afganistán y al oeste de Pakistán; y *Brassica napus* L., de la cual aún se desconoce su origen y si la especie existe en una forma verdaderamente silvestre, pero se ha naturalizado en numerosos lugares como las Islas Británicas, Francia, Escandinavia y Norteamérica (Ellstrand, 2003). Muchas especies pueden hibridar naturalmente con la canola; buena parte son nativas del Viejo Mundo, se han expandido por todo el globo y son consideradas malezas nocivas. Algunas son brassicas silvestres (la maleza *B. rapa* var. *rapa*, *B. campestris* ssp. *campestris*, *B. oleracea*, por mencionar algunas) y otras son miembros de géneros cercanos como *Hirschfeldia* y *Raphanus*. *Brassica napus* también hibrida con *B. rapa* a pesar de que la primera es una especie tetraploide producto de la hibridación entre *B. rapa* y *B. oleracea* y la segunda es una especie diploide (Ellstrand, 2003; Warwick *et al.*, 2003).

Debido a que *B. napus* es un cultivo producido a nivel mundial y a que tiene un potencial elevado de hibridación con varios cultivos y parientes silvestres sexualmente compatibles, su variedad transgénica presenta una preocupación particular. Los transgenes podrían escapar tanto por medio del polen, transportado por el viento e insectos, como por las semillas, ya que *B. napus* puede formar un banco persistente de

semillas, lo cual puede producir poblaciones voluntarias en temporadas subsiguientes (Warwick *et al.*, 2003).

En 1995, en Canadá, se liberó comercialmente la canola genéticamente modificada con resistencia a los herbicidas glifosfato y glufosinato. Seis años después, en 2001 en Quebec, se confirmó la presencia de híbridos de las variedades de canola transgénica con *B. rapa*, en campos donde previamente se había cultivado canola GM (Warwick *et al.*, 2003). Posteriormente, se monitorearon durante un periodo de cuatro años dos locaciones de dichas poblaciones de *B. rapa* para documentar la presencia de híbridos y la persistencia de los transgenes. Los resultados de ese trabajo confirmaron la persistencia de los transgenes en las poblaciones de *B. rapa*, las cuales no poseen la presión selectiva del herbicida (Warwick *et al.*, 2007).

Desde entonces numerosos estudios han documentado el escape y persistencia de poblaciones ruderales de canola genéticamente modificada en Canadá, Gran Bretaña, Francia, Japón, Estados Unidos y Australia (Schafer *et al.*, 2011) lo cual propone nuevas interrogantes respecto a las consecuencias que la presencia de dichas poblaciones pueden representar en materia de bioseguridad, por ejemplo al contribuir al flujo, establecimiento y expresión de transgenes en el ambiente, fuera de los campos de cultivo.

Soya

La soya, *Glycine max* (L.) Merr., es una especie domesticada originaria de China, cuyo centro primario de diversidad se extiende por gran parte del continente asiático (Corea, Japón, el este de Rusia, Afganistán, Cambodia, Laos, Myanmar y Vietnam; Andersson y de Vicente, 2010). Se cultiva en más de 90 países, de los cuales Argentina, Brasil, China, India y Estados Unidos son los principales productores al contribuir, en conjunto, con el 90% de la producción mundial total (Andersson y de Vicente, 2010).

Glycine max pertenece al subgénero *Soja* y, en condiciones naturales, es única y completamente interfértil con los parientes silvestres dentro de su mismo subgénero (i.e. *G. soja* y *G. gracilis*), cuya distribución se restringe al norte de Corea, Taiwán, Japón, el noreste de China y la parte adyacente de la Siberia rusa (Ellstrand, 2003). Descendencia híbrida, viable y completamente fértil se obtiene de las cruzas entre *G. max* con *G. soja* y *G. gracilis* (Andersson y de Vicente, 2010).

La especie *G. soja* se considera el ancestro silvestre inmediato de la soya domesticada. Plantas híbridas, morfológicamente intermedias a *G. max* y *G. soja*, con frecuencia se hallan espontáneamente cerca de los campos asiáticos de soya, donde *G. soja* está presente (Abe *et al.*, 1999). Inclusive, existe evidencia molecular de introgresión de alelos provenientes de soya domesticada a poblaciones silvestres de *G. soja* (Kuroda *et al.*, 2006). Por otra parte, *Glycine gracilis* presenta caracteres fenotípicos intermedios entre *G. max* y *G. soja* por lo que su estado taxonómico aún no se resuelve por completo; algunos autores la consideran como un intermedio en la especiación entre *G. max* y *G. soja*, mientras que otros sostienen que es una maleza derivada de la hibridación entre éstas últimas (Abe *et al.*, 1999; Andersson y de Vicente, 2010).

Un estudio para determinar si semillas almacenadas de soya que supuestamente no eran genéticamente modificadas contenían transgenes, documentó la presencia del transgén *CP4 EPSPS* en 50% de seis muestras de cultivares convencionales de soya. Aunque este trabajo no expuso ninguna conclusión sobre los niveles absolutos de contaminación y el medio por el cual ésta ocurrió (por polen o semillas), los resultados sí enfatizan la dificultad de prevenir el movimiento de transgenes (Mallory-Smith y Zapiola, 2008).

Arroz

Las especies de arroz domesticadas y explotadas para su consumo a escala mundial son: *Oryza sativa* L., de origen asiático, cultivada en los trópicos húmedos, y *Oryza glaberrima* Steud., de origen africano, sembrada predominantemente en África, aunque gradualmente está siendo reemplazada por la primera (Ellstrand, 2003).

El género *Oryza*, además de *O. sativa* y *O. glaberrima*, incluye aproximadamente 20 especies silvestres, diploides y tetraploides, con 10 tipos genómicos diferentes. Las dos especies cultivadas poseen el genoma AA y aunque predominantemente se autopolinizan, la polinización cruzada y la hibridación con otras especies que presentan el mismo genoma es posible y de hecho ocurre espontáneamente en la naturaleza. Por el contrario, la hibridación entre especies con diferentes tipos genómicos es muy poco frecuente, ya que existen barreras reproductivas importantes como esterilidad, inviabilidad o debilidad híbrida (Andersson y de Vicente, 2010).

Existen 9 especies con el genoma AA, las 2 domesticadas y 7 silvestres, las cuales pertenecen a la sección taxonómica *Oryza*, serie *Sativae* y pueden hibridar naturalmente entre ellas (ver tabla 5.2). La adecuación de la progenie híbrida de las cruas entre el arroz silvestre y el cultivado es generalmente alta (Lu *et al.*, 2002; Ellstrand, 2003), aunque en ocasiones se ha observado una reducción en la fertilidad o alta esterilidad (Andersson y de Vicente, 2010). No obstante, el retrocruzamiento con alguno de los progenitores puede restablecer la fertilidad y estabilizar la progenie híbrida, facilitando así el flujo genético y la introgresión interespecífica (Andersson y de Vicente, 2010).

En el siglo pasado, en la India se sembraron cultivares de arroz con pigmentación púrpura para distinguir sus brotes de los brotes verdes de la maleza *O. sativa* f. *spontanea*. La estrategia falló después de algunas temporadas, ya que por la vía del flujo genético y la introgresión, las poblaciones de malezas acumularon el alelo de la pigmentación en altas frecuencias (Ellstrand, 2003).

La hibridación natural con el arroz cultivado ha implicado la casi extinción del taxón taiwanés *O. rufipogon* ssp. *formosana*; las colecciones de este arroz silvestre muestran un cambio progresivo hacia los caracteres

Tabla 5.2. Especies con genoma AA del género *Oryza* sect. *Oryza* ser. *Sativae*.

Especie	Estado	Distribución geográfica
<i>O. sativa</i>	Domesticada	Asia, América tropical, Norteamérica, África y Oceanía
<i>O. glaberrima</i>	Domesticada	África
<i>O. sativa</i> f. <i>spontanea</i>	Silvestre	Asia, América tropical y Norteamérica
<i>O. rufipogon</i>	Silvestre	Asia, América tropical, Norteamérica y Oceanía
<i>O. nivara</i>	Silvestre	Asia
<i>O. longistaminata</i>	Silvestre	África
<i>O. barthii</i>	Silvestre	África
<i>O. glumaepatula</i>	Silvestre	América tropical y África
<i>O. meridionalis</i>	Silvestre	Australia y Nueva Guinea

cultivados, a la par de un decremento en la fertilidad de sus semillas y polen (Oka, 1992).

Un estudio sobre flujo génico directo se realizó con un arroz transgénico portador del gen *bar* (*Oryza sativa* ssp. *japonica*) empleado como donador de polen a su pariente silvestre *O. rufipogon* en un campo experimental. El polen fue transportado por el viento. Se reportaron altas frecuencias de flujo del transgén, cuya detección fue disminuyendo con el aumento en la distancia mantenida con los organismos transgénicos; sin embargo, las distancias son considerables (Wang *et al.*, 2006). Otro estudio similar se realizó con arroz transgénico portador del gen *bar* B2 (*Oryza sativa* ssp. *japonica*) empleado como donador de polen a una línea de arroz BoA macho-estéril que fungía como receptor. Ambas variedades se plantaron en círculos concéntricos, con el arroz B2 ubicado al centro y el arroz BoA alrededor de éste, en un diámetro de 60 metros. Los resultados indican que el flujo génico está fuertemente relacionado con la dirección del viento y decrece con la distancia (Yuan *et al.*, 2007). No obstante, es importante tener presente que el flujo génico es afectado por muchos factores biológicos y ambientales como el tamaño del donador o receptor del polen, el grado de sincronización con el periodo de floración, la viabilidad del polen, la habilidad de entrecruzamiento del receptor, la velocidad y dirección del viento, la temperatura, la humedad, la polinización por insectos, la topografía, la geomorfología, las barreras físicas, el intercambio informal de semilla entre campesinos y otros más, y que el estudio descrito está sujeto a las condiciones de muestreo en las que se realizó, por ejemplo, la distancia máxima a la cual se podía detectar un resultado eran 60 metros. Para determinar una distancia de aislamiento adecuada y aplicar una práctica agrícola relevante en una región dada, estos factores se deben estudiar a detalle bajo condiciones locales específicas (Yuan *et al.*, 2007) y realizarse estudios de flujo génico indirecto e introgresión con los parientes silvestres.

Conclusiones

El flujo génico es un componente principal de la estructura poblacional porque determina hasta qué punto cada población local de una especie es una unidad evolutiva independiente.

Los métodos para estimar el flujo génico en poblaciones naturales se dividen en directos e indirectos, y ambos proporcionan diferente información sobre la biología de las especies. Es indispensable conocer las ventajas y desventajas de los mismos ya que, por ejemplo, los métodos directos proporcionan resultados limitados en espacio y tiempo y no deben ser extrapolados a diferentes condiciones climáticas o regiones geográficas, mientras que los métodos indirectos promedian los eventos históricos y los actuales, por lo que no reflejan el flujo producido en el tiempo en que se midió.

La hibridación y la introgresión son subconjuntos del flujo génico, y sus consecuencias evolutivas pueden ser muy profundas. El impacto de los genes de los cultivos en las poblaciones silvestres es una cuestión que atañe a cualquier variedad de planta cultivada, transgénica o no.

Son muchos los cultivos que hibridan con sus parientes silvestres por lo que es necesario analizar caso por caso, para que se fundamenten las decisiones.

Referencias

- Abe, J., A. Hasegawa, H. Fukushi, T. Mikami, M. Ohara, y Y. Shimamoto (1999). Introgression between wild and cultivated soybeans of Japan revealed by RFLP analysis for chloroplast DNAs. *Economic Botany*, 53:285-291.
- Arias, D. M. y L.H., Rieseberg (1994). Gene flow between cultivated and wild sunflowers. *Theoretical and Applied Genetics*, 89:655-660.
- Barrowclough G. y N. K. Johnson (1988). *Genetic structure of North American birds: Proceedings of the International Ornithological Congress 19:1630-1638, 1669-1673*
- Becerra Lopez-Lavalle L.A. & Brubaker C.L. (2007). Frequency and fidelity of alien chromosome transmission in *Gossypium* hexaploid bridging populations. *Genome*, 50(5), 479-491.
- Brubaker, C.L.; Wendel, J.F. (1994) Reevaluating the origin of domesticated cotton (*Gossypium hirsutum*; Malvaceae) using nuclear restriction fragment length polymorphisms (RFLPs). *American Journal of Botany*, 81, 1309-1326.
- Cleveland, D.A., Soleri, D., Aragón-Cuevas, F. et al. (2005) Detecting (trans) gene flow to landraces in centers of crop origin: lessons

- from the case of maize in Mexico. *Environmental Biosafety Research*, 4:197-208.
- Dyer, G., Serratos-Hernández, A., Perales, H., Gepts, P., Piñeyro-Nelson, A., Chávez, A., Salinas-Arreórtua, N., Yunez, A., Taylor, E., Álvarez-Buylla, E.R. (2009) Dispersal of Transgenes through Maize Seed Systems in Mexico. *PLoS One*. Vol. 4(5):e5734
- Ehrlich, P. R. y P. H. Raven. (1969). Differentiation of populations. *Science* 165:1228-1232.
- Ellstrand, N.C. (2003). *Dangerous Liaisons? When cultivated plants mate with their wild relatives*. The Johns Hopkins University Press.
- Ellstrand, N. C., y D. L. Marshall. (1985). Interpopulation gene flow by pollen in Wild Radish, *Raphanus sativus*. *The American Naturalist* 126:606-615.
- Ellstrand, N. C., H. C., Prentice y J. F., Hancock. (1999). Gene flow and introgression from domesticated plants into their wild relatives. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 30, 539-563.
- Ezcurra, E., Ortíz, S., Soberón Mainero, J., (2001) Evidence of gene flow from transgenic maize to local varieties in Mexico. *LMOs and the Environment: Proceedings of an International Conference*, OECD. Durham, North Carolina, 289-295.
- Fryxell, P.A. (1979) *The Natural History of the Cotton Tribe*, London: Texas A & M University Press, College Station, 245.
- Futuyma, D. J. (2005). *Evolution*. Sinauer, Sunderland. Massachusetts, USA.
- Handel, S. N. (1982). Dynamics of gene flow in an experimental population of *Cucumis melo* (Cucurbitaceae). *American Journal of Botany*, 69,1538-1546.
- Kane, N. C., King, M. G., Barker, M. S., Raduski, A., Karrenberg, S., Yatabe, Y., Knapp, S. J., Rieseberg, L. H. (2009). Comparative genomic and population genetic analyses indicate highly porous genomes and high levels of gene flow between divergent *Helianthus* species. *Evolution*, 63, 2061-2075.
- Kuroda, Y., Kaga A., Tomooka N. y Vaughan D.A. (2006). Population genetic structure of Japanese wild soybean (*Glycine soja*) based on microsatellite variation. *Molecular Ecology*, 15, 959-974.
- Lu, B.R., Song, Z.P. y Chen, J. (2002). Gene flow from crops to wild relatives in Asia: Case studies and general expectations. *Proceedings of the 7th International Symposium on Biosafety of Genetically Modified Organisms, Beijing, China, 12 a 16 Octubre, 2002. (In-*

- ternational Society for Biosafety Research, ISBR*), 29-36 : www.isbr.info/symposia.
- Mallory-Smith, C. A. y M. Zapiola (2008). Gene flow from glyphosate-resistant crops. *Pest Management Science*, 64, 428-440
- Massinga, R. A., K. Al-Khatib, P. St. Amand y J. F. Miller (2003). Gene flow from imidazolinone-resistant domesticated sunflower to wild relatives. *Weed Science*, 51, 854-862.
- Mercer, K.L., Wainwright, J.D. (2008) Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: an analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123, 109 -115.
- Oka, H.I. (1992). Ecology of wild rice planted in Taiwán: II. Comparison of two populations with different genotypes. *Botanical Bulletin of Academia Sinica*, 33, 75-84.
- Ortíz-García, S., Ezcurra, E., Schoel, B., Acevedo, F., Soberón, J., Snow, A.A., (2005) *Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004)*. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.
- Ortíz-García S, Ezcurra E, Schoel B et al. (2005b) Reply to Cleveland et al.'s 'Detecting (trans)gene flow to landraces in centers of crop origin: lessons from the case of maize in Mexico.'*Environmental Biosafety Research*, 4, 209-215.
- 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. and Álvarez-Buylla, E.R. (2009a) Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology*, 18,750-761.
- 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. and Álvarez-Buylla, E.R. (2009b) Resolution of the Mexican transgene detection controversy: error sources and scientific practice in commercial and ecological contexts. *Molecular Ecology*, 18,4145-4150.
- Presotto, A., Fernández-Moroni, I., Poverene, M. y Cantamutto, M. (2011). Sunflower crop-wild hybrids: identification and risks. *Crop Protection*. 30 (6),611-616.
- Quist, D., Chapela, I. (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414, 541-543.
- Raven PH (2005) Transgenes in Mexican maize: Desirability or inevitability? *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 102, 13003-13004.

- Reagon, M., & Snow, A. A. (2006). Cultivated *Helianthus annuus* (Asteraceae) volunteers as a genetic “bridge” to weedy sunflower populations in North America. *American Journal of Botany*, *93*(1), 127-133.
- Rieseberg, L.H., M. J. Kim y G. J. Seilert (1999). Introgression between the cultivated sunflower and a sympatric wild relative, *Helianthus petiolaris* (Asteraceae). *International Journal of Plant Sciences*. *160*(1),102-108.
- Scascitelli, M., Whitney, K. D., Randell, R. A., King, M., Buerkle, C. A., Rieseberg, L. H. (2010). Genome scan of hybridizing sunflowers from Texas (*Helianthus annuus* and *H. debilis*) reveals asymmetric patterns of introgression and small islands of genomic differentiation. *Molecular Ecology*, *19*,521-541.
- Schafer, M.G., Ross, A.A., Londo, J.P., Burdick, C.A., Lee, E.H., Travers, S.E., Van de Water, P.K. y Sagers, C.L. (2011) The Establishment of Genetically Engineered Canola Populations in the U.S. *PLoS ONE*. *6*(10), e25736. doi: 10.1371/journal.pone.0025736
- Schoel, B., Fagan, J. (2009) Insufficient evidence for the discovery of transgenes in Mexican landraces. *Molecular Ecology*, doi:10.1111/j.1365-294x.2009.04368.
- 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. *Front. Ecol. Environ*, *5*, 247-252.
- Slatkin M., (1985) Gene flow in natural populations. *Annual Review of Ecology and Systematics*, *16*:393-430.
- Slatkin, M. (1987). Gene Flow and the geographic structure of natural populations. *Science*, *263*, 787-792.
- Slatkin M., y R.R. Hudson (1991). Pairwise comparisons of mitochondrial DNA sequences in stable and exponentially growing populations. *Genetics*, *129*, 555-562.
- Slatkin, M. (1993). Isolation by distance in equilibrium and non-equilibrium populations. *Evolution* *47*,264-279.
- Slatkin, M. (1995). A measure of population subdivision based on microsatellite allele frequency. *Genetics*, *139*, 457-462.
- Snow, A. A., D. Pilson, L. H. Rieseberg, M. J. Paulsen, N. Pleskac, M. R. Reagon, D. E. Wolf y S. M. Selbo. (2003). A Bt transgene reduces herbivory and enhances fecundity in wild sunflowers. *Ecological Applications*, *13*(2),279-286.

- Strasburg, J.L. y Rieseberg L.H. (2008). Molecular demographic history of the annual sunflowers *Helianthus annuus* and *H. petiolaris*—large effective population sizes and rates of long-term gene flow. *Evolution*, 62, 1936-1950.
- Templeton, A. (2006). *Population genetics and microevolutionary theory*. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ.
- Wang, F., Yuan Q.H., Shi L., Qian Q., Liu W.G., Kuang B.G., Zeng D.L., Liao Y.L., Cao B. y Jia S.R. (2006). A large-scale field study of transgene flow from cultivated rice (*Oryza sativa*) to common wild rice (*O. rufipogon*) and barnyard grass (*Echinochloa crusgalli*). *Plant Biotechnology Journal*, 4(6), 667-76.
- Warwick, S.I., M.J. Simard, A. Legere, H. J. Beckie, L. Braun, B. Zhu, P. Mason, P. Seguin-Swartz y C. N. Stewart. (2003). Hybridization between transgenic *Brassica napus* L. and its wild relatives: *Brassica rapa* L., *Raphanus raphanistrum* L., *Sinapis arvensis* L. and *Erucastrum gallicum* (Willd.) OE Schulz. *Theoretical and Applied Genetics*, 107, 528-539.
- Warwick, S. I., A. Légère, M. J. Simard y T. James. (2007). Do escaped transgenes persist in nature? The case of an herbicide resistance transgene in a weedy *Brassica rapa* population. *Molecular Ecology*, 17(5), 1387-95
- Wegier, A., Piñeyro-Nelson, A., Alarcón, J., Gálvez-Mariscal, A., Álvarez-Buylla, E.R. and Piñero, D. (2011). Recent long-distance transgene flow into wild populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its center of origin. *Mol. Ecol.* 20(19), 4182-4194.
- Yuan, Q. H., L. Shi, F. Wang, B. Cao, Q. Qian, X. M. Lei, Y. L. Liao, W. G. Liu, L. Cheng y S. R. Jia. (2007). Investigation of rice transgene flow in compass sectors by using male sterile line as a pollen detector. *Theor Appl Genet.* 115, 549-560.



CAPÍTULO 4
INCERTIDUMBRES, RIESGOS Y PELIGROS DE LA LIBERACIÓN
DE MAÍZ TRANSGÉNICO EN MÉXICO



*Elena R. Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro Nelson, Antonio Turrent,
Ana Wegier, Valeria Alavez, Leonora Milán,
Terje Traarvik, David Quist y Jorge Nieto-Sotelo*

Introducción

En octubre de 2009 se aprobaron las primeras siembras experimentales de maíz transgénico en México desde la moratoria *de facto* implementada en 1998, por lo que actualmente estamos frente a la posibilidad de que se apruebe la liberación en el campo mexicano de líneas de maíz transgénico al ambiente en extensiones mayores. Las consideraciones sobre lo deseable y seguro de esta tecnología para nuestro país han sido guiadas por intereses políticos y económicos privados, más que por estudios científicos concluyentes, y mucho menos por consideraciones sociales o ambientales. Estos intereses han moldeado y apresurado un marco regulatorio (la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, LBOGM, en vigor desde 2006 y el reglamento que de ella emana) encaminado a posibilitar la liberación en el campo mexicano de las líneas comerciales de maíz transgénico disponibles. En este escenario, es importante llevar a cabo una reflexión entorno a la liberación de organismos transgénicos en el ambiente, la cual desencadena riesgos y peligros anidados que dependerán del contexto en el cual ocurra la liberación y del tipo de transgénico.

Más aún, en el caso particular del maíz transgénico, se sabe ya que estos desarrollos son obsoletos en términos tanto científicos como tecnológicos, aún en las condiciones de agricultura industrializada para las que fueron creados originalmente, debido a que se basan en un paradigma científico ya superado: un gen determina un rasgo visible (fenotípico) de manera simple y prácticamente independiente del resto de los genes del organismo y del ambiente en donde se desarrolla dicho organismo. Mientras que se desarrollaban los primeros OGM a finales de los ochenta y mediados de los noventa del siglo pasado, este paradigma ya era cuestionado con base en innumerables datos experimentales y modelos formales. Sin embargo, se siguen desarrollando transgénicos con base en este paradigma y son promovidos para su comercialización y liberación en el ambiente sin considerar las consecuencias. ¿Cuáles son los riesgos de dicha liberación?

Para evaluar el riesgo e incertidumbres del uso de una tecnología se han elaborado diferentes protocolos que analizan diferentes niveles en los cuales un desarrollo tecnológico puede presentar peligros, riesgos e incertidumbres. En el caso de los organismos genéticamente modificados, uno de los protocolos más acabados presentados hasta el momento por alguna autoridad nacional o supranacional es el elaborado por el panel científico de la Autoridad Europea de Seguridad de los Alimentos (EFSA, 2006). Este protocolo contempla que el análisis de bioseguridad de un OGM específico debe hacerse en varios niveles y mínimamente incluir: las características biológicas del(los) organismo(s) de donde se obtuvieron las secuencias transgénicas, las características biológicas del organismo receptor, el proceso de transformación genética; las características de la(s) proteína(s) recombinante(s), tanto su toxicidad para el hombre y los animales como la posibilidad de transferencia horizontal de los (trans)genes que las codifican hacia otros organismos, así como los posibles riesgos de su liberación en el ambiente en diversos contextos (ver capítulo 15 para una discusión más profunda entorno al análisis de riesgo y bioseguridad).

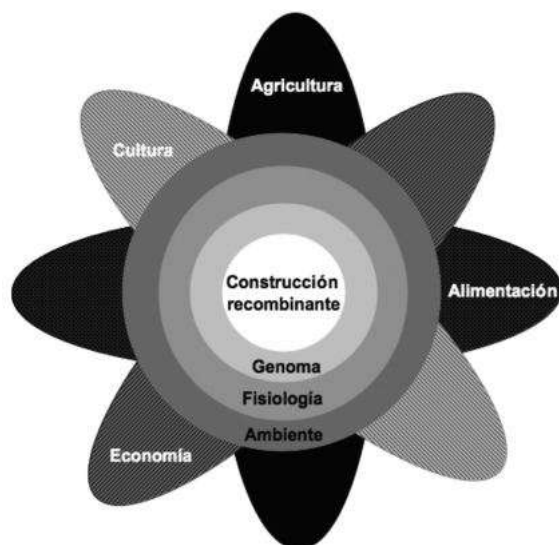
Lo notable de este documento es que hace referencia explícita a que la evaluación de los posibles efectos negativos o peligros de la liberación de un OGM particular tienen que ser caso por caso, y un “caso” está conformado por el OGM mismo y sus características, pero también por el ambiente y el contexto agrícola en el cual se usará, así como por sus posibles usos. Para la liberación en el ambiente de un OGM es necesario evaluar los posibles peligros (que definimos aquí como la fuente

del riesgo y se refiere a una substancia o a una acción que puede causar daño) y riesgos (la posibilidad de sufrir un daño por la exposición a un peligro) que se hallan contenidos unos en otros —como las muñecas rusas o “matrioska”, jerárquicamente, debido a los distintos niveles de organización de los sistemas biológicos—, tomando en cuenta parámetros ecológicos ambiente-específicos, pero también considerando las condiciones socioeconómicas bajo las cuales se usarán estos desarrollos.

De manera muy simplificada y esquemática, los principales niveles de riesgos e incertidumbres son: 1) la construcción recombinante o transgénica propiamente dicha, que incluye el o los genes que codifican para las proteínas objeto de la biotecnología, así como las secuencias reguladoras que determinan en dónde y cuándo se expresará dicho gen, las secuencias que permiten la selección de las plantas que resultan transgénicas y, finalmente, secuencias importantes para la transcripción de él o los gen(es) de interés (Figura 2 y capítulo 3), el contexto genómico y proteómico, así como el fondo genético de la planta receptora en el cual se integrará la construcción recombinante y del cual dependerá el efecto fisiológico o morfológico del transgén; 3) el contexto ambiental en el cual se usará la planta transgénica; 4) el contexto agrícola/tecnológico de la zona o país en donde se liberará la planta transgénica; y 5) el contexto socioeconómico (la cultura, forma de uso, importancia alimenticia, organización de la producción agrícola, distribución, etcétera) de la región y país en donde se usará la planta transgénica bajo evaluación.

El esquema de anidamiento de incertidumbres, riesgos e insuficiencias deja claro que aquellos que surjan en los niveles más internos tendrán implicaciones más generales que los que surjan por fenómenos a niveles superiores, dentro de contextos económicos, sociales y culturales que, si bien operan de manera independiente entre sí, se sobreponen a los niveles inferiores, potenciando (o atenuando) los riesgos e incertidumbres presentes en los niveles basales. Más aún, en las evaluaciones de riesgo, algunos niveles tendrán interacciones más relevantes, por ejemplo, los riesgos e incertidumbres propios del nivel fisiológico de la transformación genética serán más importantes cuando se evalúe la posibilidad de toxinas que afecten la alimentación de la población que los riesgos derivados de la transgénesis *per se* (nivel inferior). En contraste, para evaluar la posibilidad de flujo génico, el nivel agroecológico será el más relevante, tanto en las consideraciones de impacto social, como económico (ver Figura 1). Así, los efectos que se derivan de factores o

Figura 1.



Niveles de riesgo anidados a partir del proceso de transgénesis y actividades humanas en donde puede haber traslape, dando pie a interacciones con peligros, riesgos e incertidumbres particulares, si de libera un OGM al ambiente y ésta entra a la cadena productiva y alimenticia. Los niveles anidados considerados son la construcción recombinante, genoma, fisiología, ambiente, mientras que las dinámicas humanas consideradas son agricultura, alimentación, cultura y economía.

peculiaridades de los niveles superiores, serán relevantes únicamente para los casos en los que se presenten las condiciones particulares asociadas a dicho contexto y riesgo/incertidumbre particular, surgido de un nivel superior.

Por ejemplo, las consecuencias de los maíces transgénicos en países para los cuales el maíz es el alimento básico, con la relevancia nutricional, ambiental, económica, social y cultural que esto conlleva, serán muy distintas a las que tendrán estos desarrollos en otros países donde no lo es. Por los riesgos e incertidumbres del uso de este tipo de organismos, así como por la percepción social de los mismos, en los países para los cuales el arroz (Este asiático) y el trigo (Estados Unidos de Norteamérica, Canadá y Europa) son los cereales básicos y se consumen masivamente de manera directa (como sucede con el maíz en México),

ha habido mucha resistencia a la liberación de líneas transgénicas de estos cultivos. En Canadá y Estados Unidos sólo 5 líneas de arroz GM han sido aprobadas para su liberación en el ambiente en espacios restringidos, mientras que 7 líneas de trigo GM han sido liberadas en el ambiente a nivel experimental en áreas muy pequeñas. Pero en ninguno de estos dos cereales básicos se ha aceptado la comercialización de líneas transgénicas a gran escala (www.agbios.org), como ha sucedido con el maíz. Por lo tanto, la protección de este último corresponde a México y a nuestro gobierno.

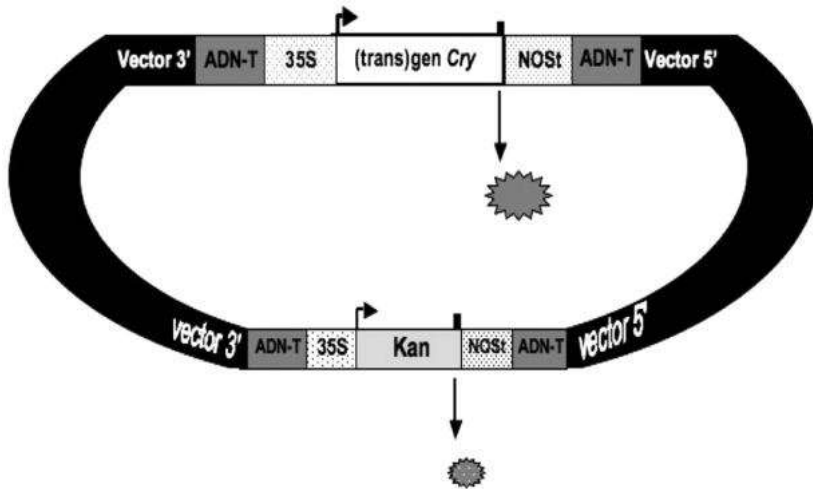
El análisis de los niveles de anidamiento es útil para discernir en qué punto de la cadena productiva puede haber riesgos o incertidumbres al usar tecnologías que no son claramente peligrosas. Tal es el caso de los maíces transgénicos de uso agrícola (conocidas popularmente como *Bt* y *RR*) comercializados hasta el momento. Sin embargo, hay desarrollos tecnológicos como los cultivos utilizados de “biorreactores”, que implican peligros contundentes para la salud y el medio ambiente en prácticamente todos los niveles de anidamiento, sin importar la dinámica humana de los niveles superiores. En este caso, es imperativo reducir los riesgos en todos los niveles, por más pequeños que éstos sean (Ellstrand, 2003b; Editorial *Nature Biotechnology*, 2004). En este sentido, ya existen maíces transgénicos biorreactores, los cuales han sido genéticamente modificados para producir sustancias no aptas para consumo humano, como plásticos, solventes y fármacos (Ellstrand, 2003b).

Construcciones recombinantes en maíz

Genes incluidos en el cassette de transformación o construcción quimérica

El primer nivel de anidamiento está dado por las secuencias génicas reguladoras presentes en la construcción quimérica en donde se encuentra fusionado el gen que codifica para la proteína objeto de la transgénesis. En la Figura 2 ilustramos una construcción que contiene uno de los desarrollos económicamente más importantes en maíz transgénico: el que expresa una variante de la proteína Cry de la bacteria *Bacillus thuringiensis* (llamado maíz *Bt*). La construcción recombinante contiene por lo menos tres secuencias: promotora, gen de interés y terminadora. Es pertinente considerar la función de cada una de las secuencias usadas: a) secuencia promotora que regula la expresión de un gen (gen *Bt*, en este ejemplo);

Figura 2.



Caricatura de un plásmido de transformación hipotético (vector), que lleva dos construcciones recombinantes: una que expresa el gen Cry de *Bacillus thuringiensis*, que es el transgen de interés (caja blanca; proteína-estrella en gris), y otra construcción que expresa el antibiótico Kanamicina (Kan), utilizado como marcador de selección (caja gris clara; proteína-estrella gris con puntos blancos). Ambas construcciones tienen secuencias que no serán traducidas a proteína: Cajas negras: extremos 3' y 5' del vector (plásmido); cajas grises; ADN de transferencia (ADN-t); éste se encuentra presente si la transformación fue mediante infección por *Agrobacterium tumefaciens*. Cajas con puntos: secuencias reguladoras. Lado izquierdo: promotor 35S del Virus del Mosaico de la Coliflor (35S); lado derecho: terminador NOS, nopalina sintetasa, aislado de *Escherichia coli* (NOS); flecha: inicio de la transcripción; rectángulo negro; fin de la transcripción.

b) (trans)gen de interés: codifica para la proteína que se quiere producir en un organismo genéticamente modificado; c) secuencia terminadora de la transcripción del mismo gen, que delimita hasta dónde llega la ADN polimerasa; d) secuencia utilizada como marcador de selección: sirve para determinar qué plantas han sido transformadas exitosamente —hasta ahora la estrategia más utilizada ha sido la co-transformación con genes que expresan una proteína que confiere resistencia a un antibiótico, en particular la kanamicina y otros de la familia de las penicilinas, o resistencia a herbicidas, así como otras sustancias (ver Capítulo 3) ; y e) secuencias flanqueadoras de la construcción recombinante que pueden

aumentar las posibilidades de inserción exitosa en el genoma receptor. Todas las secuencias enlistadas, salvo la b), no son objeto directo del desarrollo biotecnológico, sin embargo, son integradas en el genoma de la planta receptora e implican peligros y riesgos importantes que consideramos en este apartado.

El promotor 35S del virus del mosaico de la coliflor (CaMV)

Esta secuencia promotora es una secuencia reguladora de la expresión de un gen que provoca una expresión fuerte y constante del gen bajo su acción. Es una secuencia originalmente aislada de un virus que provoca la enfermedad del mosaico en la coliflor (Guilley *et al.*, 1982). En un inicio se creía que sólo funcionaba en plantas dicotiledóneas como la coliflor (de la familia Brassicaceae) en la cual fue aislada y caracterizada a partir del virus del mosaico. Sin embargo, experimentos posteriores demostraron que este promotor podía ser funcional en otras plantas, tanto dicotiledóneas como monocotiledóneas, en bacterias como *Escherichia coli*, *Agrobacterium rhizogenes*, y en células humanas (ver citas en Steinbrecher, 2002).

Debido a su eficiente y alta expresión en todo tipo de tejidos durante todas las etapas del desarrollo de las plantas (expresión ectópica y constitutiva), ha sido el promotor más utilizado en la transformación genética de plantas. En el caso del maíz, el promotor CaMV 35S ha sido utilizado en más de 85% de los tipos de maíz transgénico liberados en el ambiente y muchos de ellos comercializados en diferentes partes del mundo (www.agbios.org).

La primera incertidumbre y los riesgos potenciales a nivel de las construcciones recombinantes que incluyen este promotor surgen justamente del hecho de que es un promotor de origen viral y los virus nunca transfieren sus secuencias promotoras al genoma de las plantas o animales que infectan (Guilley *et al.*, 1982). Este hecho es relevante por varios motivos. Por un lado, este promotor ha sido progresivamente modificado en el laboratorio para expresarse de manera constitutiva e independiente del contexto genómico en que se encuentre, fenómeno que se ha corroborado en diferentes organismos, incluidas células humanas en suspensión (Myhre *et al.*, 2006). También se ha documentado que puede activar y dirigir la expresión de genes que estén río abajo del sitio de inserción de la construcción transgénica que lo contiene; estos pueden

entonces ser genes endógenos o propios del organismo transformado genéticamente y no sólo los genes de la construcción transgénica.

Además, dentro de los genes presentes en el genoma de muchos seres vivos, incluidos plantas y humanos, se encuentran secuencias originarias de virus, mismas que podrían ser activadas por un promotor CaMV 35S. En el caso del ser humano esto sería mucho más difícil pues involucraría la transferencia de genes exógenos mediante técnicas como las utilizadas en terapia génica, o por algún otro mecanismo de transferencia horizontal. Pero en el caso de las plantas, se han documentado casos en donde el promotor 35S CaMV ha activado ectópicamente a un gen endógeno, o ha silenciado los propios transgenes que dirige u otros genes de la planta receptora (Kapoor *et al.*, 2005).

Por otro lado, la presencia de esta secuencia en el genoma de un organismo puede ser un factor intrínsecamente desestabilizador, ya que contiene secuencias que han sido caracterizadas como *hot-spots* de recombinación, regiones que favorecen la unión al ADN de enzimas como las recombinasas, las cuales a su vez pueden cortar y pegar el ADN de manera aleatoria. Esto ha sido comprobado en virus, pero existe la posibilidad de que lo mismo ocurra cuando este promotor es insertado en otros genomas (Kohli *et al.*, 1999). Es un hecho que no ha recibido la suficiente atención científica.

Algunos de los desarrollos comercializados en los últimos 5 años han comenzado a utilizar otros promotores, como el de la ubiquitina y zeína del maíz y arroz, los cuales se expresan de manera más específica, tanto temporal como espacialmente dentro de una planta. Sin embargo, el promotor CaMV 35S sigue siendo el más utilizado en los cultivos disponibles comercialmente.

Contexto genómico

Existen aún muchas incógnitas en torno a la estructura, dinámica y regulación del genoma, pues éste no funciona de manera constante ni es estable, sino que es regulado por una red de señales recibidas tanto del ambiente externo como del interno. La integración de ADN foráneo dentro de un genoma establecido puede ocasionar efectos colaterales no previstos.

Las técnicas de ingeniería genética han sido presentadas como una gran herramienta por su exacta y previsible producción de organismos

genéticamente modificados. Sin embargo, el cambio inducido por la expresión de un (trans)gen en un OGM no es a menudo una simple cuestión de transcripción o traducción de la secuencia de ADN recombinante insertada.

Los métodos disponibles para transferir construcciones genéticas a las células son hoy día ineficientes e imprecisos. Actualmente se han desarrollado sistemas de transformación mucho más precisos que utilizan a nucleasas con dedos de zinc para insertar transgenes en sitios específicos del genoma (Shukla *et al.*, 2009). Sin embargo, los métodos utilizados en los cultivos transgénicos comercializados en la actualidad no permiten predeterminar el sitio de inserción del transgén en la célula/ADN receptor. Por tanto, es importante mencionar que dicha localización del inserto puede influir sustancialmente en la función del ADN integrado y producir efectos desconocidos sobre los propios genes del receptor. Como un ejemplo de lo antes mencionado, ya se han encontrado en un mismo cultivo de células de mamífero transfectadas, células con características diferentes (Recillas-Targa F., 2006; D' Aiuto L. *et al.*, 2006).

En principio, dadas las técnicas de transgénesis actuales, un número indefinido de variantes son producidas en cada evento de transformación. Estas variantes tienen sitios diversos de inserción y un número variable de copias completas o parciales de ADN insertas. Adicionalmente, versiones aberrantes como vectores truncados o rearrreglados pueden influenciar la integridad y funciones del genoma receptor. Estos efectos no pueden ser predichos y pasan desapercibidos en las pruebas convencionales (Filipecki y Malepszy, 2006; Latham *et al.*, 2006).

Por otra parte, los impactos producto de inserciones no caracterizadas no pueden predecirse a partir de inserciones ya identificadas. A todo esto, no debe olvidarse que aun cuando dos construcciones genéticas sean idénticas y estén ya “caracterizadas”, no es factible extrapolar ninguna conclusión de bioseguridad a partir de un solo evento; por ejemplo, si se tienen dos líneas de maíz transgénico tratados con el mismo vector, no se puede extrapolar a partir de la observación del resultado en una de ellas, pues los sitios de inserción son diferentes y obviamente el contexto genómico del inserto también, lo que ocasiona que los genes afectados directa o indirectamente puedan influir en el fenotipo de la planta.

Hay que tomar en cuenta también que el producto de un transgén puede variar en sus propiedades, o bien que la integración de ADN foráneo puede ser fuente indirecta de nuevos ARN y proteínas recombinantes (Rang *et al.*, 2005).

Existe una serie de posibles consecuencias impredecibles producto de la inserción de ADN foráneo en una célula u organismo; dichas consecuencias pueden afectar de manera relevante alguna de las siguientes categorías:

- la integridad y función del genoma receptor (desestabilización del genoma);
- los procesos de control de expresión de genes (cambios en los niveles de expresión);
- el surgimiento de nuevos productos génicos y la variación en las propiedades del producto transgénico;
- las variaciones en el fenotipo;
- la producción de nuevos ARN y proteínas recombinantes;
- los cambios en la estructura cromatínica, en la topografía de proteínas de anclaje al ADN, en los patrones de metilación del ADN, metilaciones *de novo* de transgenes o extensión de patrones de metilación de transgenes a genes endógenos (efectos epigenéticos);
- la introducción de nuevos elementos reguladores como promotores, activadores, inhibidores, codones de inicio, terminadores, etcétera;
- la activación de elementos endógenos móviles con efectos colaterales como reinserciones a nuevos *loci*, transferencia genética horizontal, cambios en los productos génicos y silenciamiento/sobreexpresión de genes;
- las expresiones alteradas de un gran número de los propios genes del organismo receptor;
- la alteración de variables geográficas, químicas y ecológicas del medio ambiente (por ejemplo, xenobióticos);
- la transferencia de la secuencia del vector dentro de los cromosomas del organismo y la transferencia genética vertical y horizontal a otros organismos.

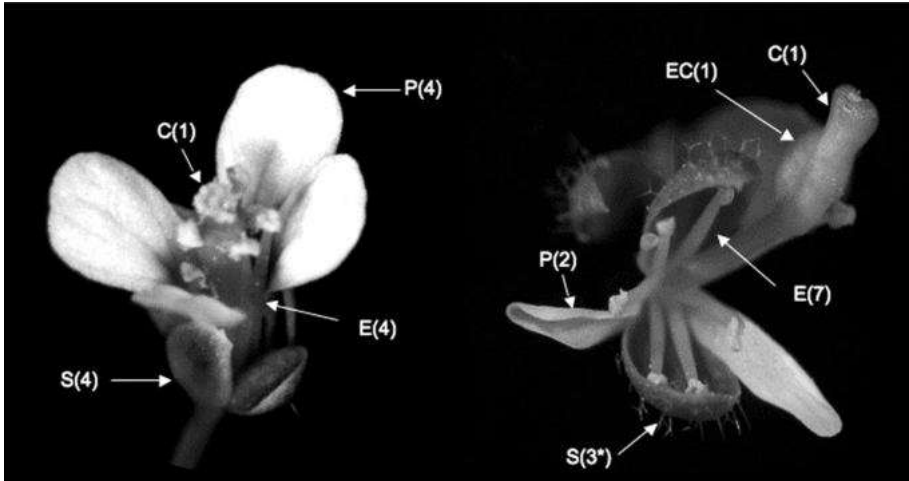
A continuación se analizan en detalle los riesgos derivados de la presencia de secuencias reguladoras que funcionan de manera autónoma —y comúnmente ectópica— con respecto al contexto genómico en que se insertan. Tal es el caso del promotor 35S CaMV. También están los riesgos derivados de que una construcción transgénica se fragmente al ser introducida a una planta. Esto último es bastante común cuando se

usan métodos de transformación por medios físicos como la biobalística, que es ampliamente usada en la transformación de maíz y otras monocotiledóneas que eran históricamente recalcitrantes a la transformación *in planta* mediada por la infección con *Agrobacterium tumefaciens*, que debe ser previamente modificada para que lleve la construcción recombinante en su plásmido. En caso de fragmentación, las secuencias exógenas se quedan dispersas dentro del genoma receptor y pueden interferir con la expresión de un gen si son insertadas en su secuencia codificante. Esto anularía la expresión de un gen funcional. Otra posibilidad es una afectación a nivel epigenético, lo cual sucede cuando los fragmentos de la construcción recombinante son secuencias reguladoras (promotores u otros *enhancers* o potenciadores) que están lo suficientemente cerca de un gen endógeno como para modificar su expresión.

Otro riesgo relacionado con los anteriores, que surge en el nivel del genoma de la planta receptora, se desprende del hecho de que el efecto de un gen en el fenotipo (conjunto de rasgos fisiológicos o morfológicos de un ser vivo) depende del contexto genómico en el cual se encuentra dicho gen. En el caso específico de los transgenes usamos un ejemplo para ilustrar cómo el sitio de inserción de una construcción recombinante puede afectar el fenotipo. En la Figura 3 se muestran dos plantas gemelas, idénticas genéticamente, que sólo difieren entre sí en la localización del transgén insertado. En este caso se trata de una construcción que incluye el promotor 35S CaMV, un gen de la familia MADS, un terminador de la transcripción NOS, (gen de la nopalina-sintetasa, aislado de *E. coli*), un gen de resistencia al antibiótico Kanamicina, y secuencias que flanquean la construcción transgénica derivadas de *A. tumefaciens*, que permiten la inserción de la construcción recombinante en el genoma de *Arabidopsis thaliana*. Estos experimentos se realizaron bajo estrictas condiciones de bioseguridad en un laboratorio biocontenido, en una especie experimental que no crece en nuestro país, con el fin de entender cómo son y cómo funcionan las redes genéticas que regulan el desarrollo vegetal.

Como se ve en la Figura 3, lo sorprendente es que a pesar de que las plantas transformadas son todas gemelas idénticas, porque *Arabidopsis thaliana* se autofecunda, algunas son de apariencia silvestre (a) y otras no (b). Este hecho resulta de la imposibilidad de controlar el sitio de inserción de un transgén y del efecto que tiene sobre éste mismo el contexto genómico en que se inserta el transgén en el organismo receptor. En el caso de los OGM comerciales, en países como Estados Unidos

Figura 3



En el panel izquierdo se retrata una planta de *Arabidopsis* transgénica con apariencia igual a la de una planta silvestre. A la derecha, una planta hermana, producto del mismo evento de transformación, que presenta aberraciones morfológicas notorias. Ambas plantas fueron transformadas con la misma construcción y tienen el mismo fondo genético, por lo que lo único que varía entre ellas es el sitio de inserción de la construcción.

este hecho no tiene gran relevancia, pues las compañías seleccionan *a posteriori* las líneas con el fenotipo adecuado a sus fines, establecen líneas puras y de ellas distribuyen semillas para su venta, exigiendo a los agricultores que devuelvan los sobrantes y compran semilla nueva año con año.

Además, para un rango de condiciones parecidas a las usadas durante la selección *a posteriori* de las líneas transgénicas, éstas deben comportarse más o menos igual. Esto es cierto, y por ello los campos de maíz transgénico en Estados Unidos raramente muestran plantas aberrantes o con comportamientos extraños. Sin embargo, en el caso de México y de otros países en los que se encuentran variedades cultivadas y silvestres interfértiles con las transgénicas, el riesgo de efectos no deseados puede tener implicaciones mayores. En estas condiciones, los transgenes se introgresarán en el genoma de los nativos y acabarán en contextos genómicos diversos y muy distintos a los de los maíces usados en la transformación inicial. El riesgo de efectos inesperados

en generaciones posteriores dependerá de la probabilidad de flujo génico, que se discutió en el capítulo 3, y opera en el nivel del sistema agroecológico en que se usarán los transgénicos.

Otro riesgo a nivel genómico derivado de la transgénesis es el aumento en la labilidad e inestabilidad genómica del genoma receptor, al incrementar la potencialidad de recombinaciones ilegítimas o mutaciones espontáneas. Esto puede resultar del daño físico que es producido en el ADN del genoma receptor cuando se le introducen construcciones transgénicas por medios físicos, pero también podría suceder en la transformación por infección con *A. tumefaciens*. En el caso de la biobalística, se rompe la cubierta celular y nuclear, así como la integridad del ADN, debido a la introducción a alta velocidad de partículas de oro o tungsteno recubiertas con la construcción transgénica de interés. El ADN incorpora la construcción transgénica al ser reparado por la maquinaria subcelular endógena. Este tipo de efectos potenciales producto de la transgénesis ha sido advertido pero no se ha documentado rigurosamente.

Cuando se usa la biobalística, el o los sitios de rompimiento e introducción del transgén son aleatorios y deben ser reparados independientemente de si se incorpora la construcción transgénica completa, parcial o no, lo cual genera procesos de recombinación ilegítima al interior del genoma receptor. En cualquier caso, si la transgénesis genera mayores tasas de mutación o no, es algo que ha recibido muy poca atención y sin duda debería investigarse con mayor rigor antes de liberar una planta transgénica en el ambiente, sobre todo si dicha planta puede entrecruzarse con otras locales. Estas incógnitas no han sido investigadas para el caso de la posible introducción de maíz transgénico en México.

¿Por qué ocurren rearrreglos en el ADN?

En las plantas, la transferencia de ADN exógeno provoca la activación de nucleasas y enzimas reparadoras de ADN para arreglar el daño producido por la transgénesis. El ADN transferido es degradado o usado como sustrato para dicha reparación, lo que da como resultado un reordenamiento y una incorporación potencial del ADN exógeno en el ADN genómico de la planta (Takano *et al.*, 1997). Además, la estructura específica del plásmido de transformación y las propiedades de la construcción transgénica pueden activar eventos de recombinación durante el proceso

de transformación; algunos elementos genéticos pueden actuar como *hot-spots*, es decir, sitios con alta frecuencia de recombinación, como es el caso del promotor 35S CaMV (Kohli, *et al.*, 1999).

La recombinación ilegítima también puede ocurrir en los bordes del plásmido Ti de *A. tumefaciens*, especialmente en el borde derecho que contiene una secuencia palindrómica imperfecta de 11 pares de bases (pb). También el sitio 3' terminal del terminador NOS es potencialmente propenso a la recombinación (Kohli *et al.*, 1999). Los *hot-spots* de recombinación pueden llevar a que transgenes en tándem se repitan con secuencias intercaladas de ADN de plantas en un solo *locus* genético.

Cambios en el transcriptoma

La intención de todo proceso transgénico es obtener una planta donde el transgén de interés esté altamente expresado. El cambio necesario para que esto ocurra requiere la adición de un tipo nuevo de transcritos al transcriptoma del organismo que ha sido modificado genéticamente. Sin embargo, la falta inherente de precisión en el proceso de inserción puede llevar también a la expresión de transcritos adicionales no intencionados.

Las aberraciones en el transcriptoma de un OGM pueden ser de la siguientes formas:

- cambios cualitativos en los transcriptomas debido a secuencias terminadoras ineficientes en una variedad de planta transgénica;
- cambios cuantitativos en el transcriptoma debido a la influencia de secuencias regulatorias del transgén en genes endógenos localizados cerca o lejos del sitio de inserción.

Ejemplo de nuevos transcritos in planta producto de la presencia de un transgén

Existe nueva evidencia que sugiere que la secuencia del terminador NOS usada en un buen número de variedades de plantas transgénicas es un sitio de alta recombinación, propenso a ser leído por la ADN polimerasa y que puede contener una secuencia crítica de empalme en *cis*, la cual podría generar nuevas moléculas de ARN y proteínas en cualquier lugar del genoma (Rang *et al.*, 2005).

Ciertas variedades de soya Roundup Ready® (RR) tolerantes a glifosato han sido desarrolladas mediante la inserción de la proteína enolpiruvilsikimato-3-fosfato sintetasa de la cepa CP4 de *E. coli* (EPSPS-CP4). La inserción transgénica y las regiones flanqueantes de la soya RR han sido recientemente caracterizadas molecularmente. Se reportó que fragmentos mayores a 250 pb del gen EPSPS-CP4 están localizados río abajo (extremo 3') del elemento de terminación de transcripción NOS, derivado del gen que codifica para la NOS en *A. tumefaciens*. Por lo menos 150 pb de esta región de ADN están transcritos en la variedad de soya RR. La transcripción del fragmento adicional depende del marco de lectura, es decir, si dichos eventos ignoran o no la señal del terminador NOS localizada río arriba. Los datos indican que el producto final de la lectura es una variante diferente de ARN en donde la región transcrita del terminador NOS es completamente borrada. Esta supresión genera marcos de lectura abiertos que podrían codificar para las proteínas de fusión EPSPS (Rang *et al.*, 2005).

El terminador NOS es usado como elemento regulador en muchas otras plantas transgénicas destinadas a la producción de alimento. Esto implica que tanto los productos codificados como la generación de nuevas variantes de transcritos de ARN podrían ser una característica común en tales plantas.

Ejemplos de la actividad del promotor 35S CaMV en células de mamíferos

En la mayoría de las plantas transgénicas comercializadas, la transcripción del transgén está regida por el promotor 35S CaMV. En 2001, Gasson y Burke reportaron sus preocupaciones (no fundamentadas experimentalmente) de que potentes promotores virales empleados en plantas para expresar ADN transgénico pudieran estar activos o ser activados en células de mamífero. Actualmente ya existen algunos estudios publicados que indican el potencial del promotor 35S CaMV para la activación transcripcional en sistemas mamíferos, además de estudios con diferentes especies de levaduras (Myhre *et al.*, 2006). Myhre y colaboradores demostraron la actividad del promotor 35S en cultivos de fibroblastos humanos y, a partir de entonces, en células de hámsters. También estudiaron la actividad del promotor 35S en células similares a enterocitos humanos, por ser relevantes en la absorción de ADN trans-

génico, y concluyeron que podría producir efectos no deseados en los hospederos si se consumiera de forma no intencional.

Estos datos ponen de manifiesto que muchos supuestos sobre la inocuidad de secuencias transgénicas, hechos en ausencia de investigación experimental, pueden ser bastante engañosos.

*Ejemplo de sobrerregulación de un gen endógeno
bajo la influencia de un promotor transgénico*

La X-Scid es una enfermedad ligada a un gen defectuoso en el cromosoma X que conlleva el desequilibrio del sistema inmune debido a la falta de células T. Cualquier tipo de infección pone en riesgo la vida de quien presenta esta enfermedad (Allenspach *et al.*, 2003).

Con el fin de curar, o al menos aliviar, los síntomas de las víctimas de X-Scid se desarrolló un protocolo de terapia génica. Se tomaron células de médula ósea de 11 pacientes y se cultivaron *in vitro*. Las células fueron transfectadas con una copia sana del gen defectuoso mediante un vector y un promotor potente. Una vez controladas las células por la expresión del transgén, y al no presentar características no deseadas, fueron devueltas al paciente, esperando que la integración del gen sano incrementara la producción de células T, mejorando así la funcionalidad del sistema inmune. Sin embargo, uno de los pacientes tratados desarrolló un tipo de cáncer altamente agresivo, debido a que en sus células tratadas el vector de transferencia del gen se había integrado en un sitio próximo al gene *Lmo2* que codifica un producto proteínico conocido por ocasionar cáncer cuando se sobreexpresa; en este caso, el potente promotor empleado fue causa de dicha sobreexpresión (Hacein-Bey-Abin, *et al.*, 2003).

*¿La “transvección” ocurre durante la transgénesis
en las células mamíferas?*

Una cuestión importante que necesita ser esclarecida es la potencial capacidad de motivos de ADN en una construcción transgénica, incluyendo las secuencias del plásmido vector, de actuar como activadores transcripcionales y, por consiguiente, influir en la transcripción de genes endógenos.

Los activadores transcripcionales son secuencias de ADN relativamente cortas (30-500 pb) y generalmente activas en *cis*, formadas por diversos motivos de unión a proteínas activadoras de factores de transcripción. Los *enhancers* (potenciadores) tienen una importante capacidad de comunicarse con los promotores, a menudo activando genes a larga distancia, además de que algunos de estos elementos transcripcionales son capaces de activar promotores que no están presentes en la hebra de ADN contigua al promotor transgénico (regulación en *trans*).

Estudios recientes realizados por D'Aiuto y colaboradores (2006) han demostrado que un activador del CMV (citomegalovirus humano) puede incrementar la actividad de su promotor en *trans* en ausencia de factores que conlleven una cercanía física al promotor. Un proceso como este es llamado *transvección*. Los autores proporcionaron evidencia de que este elemento de CMV puede también activar otros promotores en el genoma receptor (D'Aiuto *et al.*, 2006). Debido a que tales efectos de *trans*-activación pueden resultar en una activación transveccional no deseada o inesperada de genes endógenos, estos hallazgos son importantes para poder concebir un rango de efectos transcripcionales esperados en los planteamientos de la ingeniería genética y la terapia génica.

Cambios en el proteoma

Como ya se ha mencionado, la expresión de una proteína que confiere una propiedad o característica deseada es inherente a un OGM; hay diferencias cualitativas y cuantitativas en la expresión de proteínas en una célula modificada a partir de la integración de ADN exógeno en ella. Los siguientes ejemplos ilustran las profundas e impredecibles diferencias en las funciones biológicas de una proteína recombinante cuando está siendo modificada post-traduccionalmente en el organismo receptor.

Un gen inhibidor de la α -amilasa (α AI) transferido del frijol común al chícharo

Recientemente se demostró que la expresión de una proteína vegetal recombinante (α AI) del frijol común en plantas hospederas no nativas, como chícharos transgénicos, condujo a la síntesis de una estructura

modificada, probablemente alguna forma glucosilada aberrante de esa proteína.

En dicho estudio se reveló que el consumo de la áAI modificada produjo una respuesta inflamatoria tipo CD4+Th2 en ratones ante un antígeno específico; además, que el consumo simultáneo de otras proteínas podría desencadenar inmunorreactividad específica en estas proteínas normalmente no inmunogénicas. Esta investigación demostró que la expresión recombinante de proteínas no nativas en una planta puede conducir a la síntesis de variantes estructurales con inmunogenicidad alterada (Prescott *et al.*, 2005).

Producción de proteína recombinante en leche

En 2006, la Agencia de Medicina Europea (EMA) aprobó el primer fármaco en ser liberado al mercado producido a partir de un animal transgénico. El ingrediente activo (α -antitrombina humana) es obtenido mediante purificación de la leche de cabras transgénicas y se usa para tratar pacientes que sufren de deficiencia hereditaria de antitrombina y que, por tanto, corren el riesgo de una trombosis. Comparado con la α -antitrombina convencional, la vida media del suero de ATryn (el nombre comercial del fármaco producido por GTC Biotherapeutics) es reducida, por lo que es necesario su inyección en una única aplicación.

La principal preocupación de EMA era el potencial inmunogénico del Atryn; un problema adyacente es la dificultad para producir proteínas “idénticas” en leche de organismos transgénicos, ya que en el caso de vacas, cabras y ovejas, las proteínas glicosiladas contienen ácido N-glicolilneuramínico, una modificación ausente en proteínas humanas (Editorial, 2006).

Cambios en el metaboloma

Los efectos no intencionados de la transgénesis están muy relacionados con cambios en el metabolismo. En plantas, el metaboloma determina el sabor, el aroma y la textura, sus propiedades, valor nutricional y el desempeño en un cultivo. La ingeniería metabólica ha potenciado el mejoramiento de los cultivos; sin embargo, hay problemas inherentes relacionados con el hecho de que el metabolismo de un organismo forma una gran red interconectada.

Un importante número de cambios inesperados ha sido observado en estudios experimentales en *Arabidopsis thaliana*, maíz y en tomates. Asimismo, pruebas de campo con líneas de trigo transgénico han demostrado la influencia del ambiente tanto en el metaboloma de transgénicos como en el de variedades no modificadas (Romer *et al.*, 2000; Saxena y Stotzky, 2001; Hemm *et al.*, 2003; Baker *et al.*, 2006). También se han observado cambios en el perfil proteico (transcriptómico) de líneas de maíz transgénico con respecto a su aislónea más cercana, aún en ambientes biocontenidos (invernaderos; Zolla *et al.*, 2008).

Por otra parte, el desarrollo de variedades de papas genéticamente modificadas ha sido útil para determinar la presencia de cambios en las cantidades y tipos de metabolitos secundarios tóxicos producidos por el tubérculo, como los sesquiterpenos y los glicoalcaloides. En 2005 fue publicado un estudio en donde líneas de papas transgénicas fueron expuestas junto con líneas no transgénicas a un rango de condiciones ambientales estresantes. Después del periodo de estrés al que se sometieron los cultivos, estos fueron comparados y se observaron diferencias significativas en los niveles de estos metabolitos (Matthews *et al.*, 2005).

Cambios en el epigenoma

Durante el proceso de transgénesis puede inducirse cambios epigenéticos en las células, y éstos ser heredados a las generaciones siguientes. Sin embargo, es difícil determinar si la impronta epigenética es resultado de la transgénesis o de las técnicas de regeneración celular.

El proceso de transgénesis puede promover mecanismos mutagénicos relacionados con el estrés. De acuerdo con Filipecki y Malebszy (2006), estos mecanismos conllevan probables cambios genéticos tales como poliploidía, aneuploidía, rearrreglos cromosomales, recombinación somática, amplificación de genes, mutaciones puntuales e inserciones de retrotransposones; también se pueden generar cambios epigenéticos, como metilación del ADN y modificaciones en las histonas.

La regulación de la expresión génica inducida por cambios en la metilación del ADN es un mecanismo regulador muy potente. La transgénesis puede inducir cambios en la metilación en dos direcciones:

- hipometilación del ADN, dando lugar a activación de genes e inestabilidad cromosómica;

- hipermetilación del ADN, llevando consigo silenciamiento de genes, reestructuración cromatínica y silenciamiento de RNA asociado.

En 1996, Matzke y Matzke reportaron cambios por hipometilación en plantas recombinantes, demostrando que pueden surgir diferentes estados de expresión epigenética en plantas transgénicas regeneradas a partir del mismo material y que estos estados son heredados a las siguientes generaciones. A su vez, el silenciamiento de transgenes en gramíneas y otras monocotiledóneas ha sido documentado desde los primeros experimentos transgénicos (Lakshminarayan *et al.*, 2000).

Cambios en el interactoma

Los conceptos y tecnologías de la biología molecular clásica han dominado los enfoques de la ingeniería genética durante los últimos 50 años, favoreciendo el desarrollo de métodos que permiten el entendimiento de procesos complejos mediante la separación, purificación y seguimiento de algunas rutas y moléculas. Sin embargo, una característica fundamental de toda organización biológica es que sus unidades funcionales nunca están aisladas. La complejidad biológica está basada, precisamente, en la cooperación sinérgica lograda por las interacciones de los componentes de una célula (Álvarez-Buylla *et al.*, 2007).

Es sólo en raras ocasiones que la forma funcionalmente activa de una proteína es un monómero protéico, como a menudo se asume cuando se usan transgenes. El conocimiento de las interacciones en las proteínas es, por lo tanto, una fuente de información importante para comprender su funcionamiento y modelar procesos regulatorios a nivel del genoma.

El que una proteína transgénica provea una función deseada (por ejemplo: efectos insecticidas o tolerancia a herbicidas en plantas) no excluye que contenga dominios activos adicionales que se vuelvan evidentes en el nuevo contexto genómico, biológico y ambiental. Las proteínas recombinantes pueden dar lugar a formaciones complejas al unir a proteínas endógenas y otros elementos celulares cuando están presentes en nuevos ambientes, desencadenando la activación o inhibición de procesos celulares o incluso creando nuevos procesos intracelulares.

Contexto fisiológico

El cultivo de células manipuladas genéticamente para la obtención de productos recombinantes bajo condiciones de laboratorio puede parecer en principio una opción segura; sin embargo, cuando células u organismos transgénicos son liberados en el ambiente hay posibilidades de cambios en los niveles de expresión de genes y producción de metabolitos que podrían variar de acuerdo con las condiciones del entorno.

Las proporciones y cantidades de proteínas producidas por una planta transgénica en comparación con su aislónea no transgénica pueden verse trastornadas, llevando a la planta a producir más de cierto tipo de proteínas que de otras. Esto puede suceder en ciertas partes y momentos del desarrollo o en todos ellos. Esta posibilidad ha sido corroborada para un tipo de maíz transgénico (MON810), en donde estudios proteómicos demostraron que por los menos 100 proteínas estaban modificadas, mientras que 43 de estas 100 tenían aumentos o disminuciones significativas frente al perfil proteico de una planta no transgénica con el mismo fondo genético que la MON810 y cultivada bajo las mismas condiciones controladas que las plantas transgénicas (Zolla *et al.*, 2008). Este estudio fundamenta la necesidad de poner a prueba las modificaciones fisiológicas de las plantas transgénicas a niveles más finos que las hechas hasta ahora. Estas investigaciones deben abarcar otras sustancias además de las producidas por el transgén de interés.

En otro estudio menos exhaustivo se observó que la cantidad de lignina producida por una planta transgénica (MON810) aumentaba significativamente en comparación con su contraparte no transgénica (Saxena y Stotzky, 2001). Estos dos estudios ponen de manifiesto que en ciertos contextos fisiológicos la transgénesis puede modificar por lo menos la proporción y cantidad de proteínas totales producidas como consecuencia no deliberada de la transgénesis. Si bien estos cambios pueden conferir ventajas adaptativas a las plantas que las poseen, también podrían ser en su detrimento; por ejemplo, cabe la posibilidad de que se produzcan compuestos tóxicos o alergénicos, y en el caso de conferir ventajas adaptativas, si además expresan fármacos u otras sustancias no aptas para el consumo (es decir, son bio-reactores), la ventaja adaptativa implicaría un mayor riesgo de expansión y contaminación no deseada y difícil de controlar.

Tampoco se sabe qué efectos e interacciones se verán cuando se acumulen varios transgenes en una misma planta. Esto también es

plausible en condiciones como las de México, en donde se puede dar la polinización cruzada repetida con varias líneas transgénicas distintas.

Escala agroecológica

Los riesgos, incertidumbres y peligros más relevantes a consecuencia de liberar maíz transgénico en el ambiente más relevantes son aquellos que surgen en el nivel agroecológico, relacionados con el hecho de que México es centro de origen y diversificación del maíz (*Zea mays* ssp. *mays*), así como de diferentes tipos de teocintles con los que se puede entrecruzar (en especies de teocintle como *Zea mays* ssp. *parviglumis*, dicha tasa de hibridación puede alcanzar frecuencias de hasta 50%). Los estudios paleontológicos han fechado las primeras mazorcas de maíz, descubiertas en una cueva del valle de Tehuacán, en los estados de Puebla y Oaxaca, entre aproximadamente 10,000 y 13,000 años antes del presente (Benz, 2001).

Los estudios genéticos realizados mediante cruza controladas entre maíz y su pariente más cercano, una subespecie de teocintle (*Zea mays* ssp. *parviglumis*), han ayudado a discernir los cambios genéticos que subyacen a las grandes diferencias morfológicas entre la mazorca del maíz y la infrutescencia del teocintle (Doebley *et al.*, 1995; Wang *et al.*, 2005; Figura 4). Estas diferencias son grandes a nivel del fenotipo, pero pequeñas a nivel genético (involucran, hasta donde se sabe, unos cuantos genes homeóticos). Dicha evidencia nos sirve para insistir en la no linealidad de la relación entre el genotipo y el fenotipo, y la posibilidad de que (como se muestra en la Figura 3) algunas alteraciones genéticas o epigenéticas pequeñas producidas por la transgénesis puedan tener efectos fenotípicos grandes e inesperados dependiendo del contexto genómico en el que se inserte el transgén.

Actualmente, el mejoramiento agronómico campesino ha generado por lo menos 50 razas de maíz, con características morfológicas, agrícolas y bioclimáticas particulares. Dada esta diversidad, es fundamental documentar no sólo los centros de origen, sino también los de diversificación del maíz. Éstos, más que los mismos centros de origen, acumulan probablemente la mayor parte de la diversidad genética del maíz, como ha sido documentado para el caso de otro cultivar mesoamericano: el aguacate. En el caso del maíz, en los acervos de México se resguarda más de 60% de la variación genética de todo el mundo. Por

lo tanto, nuestro país es también el centro de diversidad de este cereal (Ver capítulos 1 y 3).

El maíz es además una planta de polinización abierta y muy promiscua. Más de 90% de las semillas de una mazorca son resultado de la fertilización de los óvulos por polen proveniente de otras plantas. La probabilidad de flujo vía polen y la distancia a la cual viaja dependen de las condiciones agroecológicas. Las plantas de maíz transgénico podrán polinizar a plantas de maíz no transgénico aunque no estén en parcelas contiguas. De esto ya se habló en el capítulo 4 de este expediente; por ello, no se abordará en detalle aquí. Sin embargo, es importante recordar que el riesgo de polinización cruzada entre ambos tipos de plantas dependerá de muchos factores prácticamente imposibles de controlar. Entre estos factores están la distancia entre las parcelas, la sincronía en los tiempos de floración de ambos tipos de plantas, la dirección de las corrientes de viento, la humedad relativa del aire, la temperatura y la orografía, todos los cuales pueden aumentar los riesgos de flujo de transgenes vía polen. El documentar el flujo génico en el campo es técnicamente complicado y demandante y todavía no existe un consenso sobre cómo hacerlo.

Dado el número limitado de semillas seleccionadas para cada ciclo agrícola, es posible que un transgén se fije incluso por un fenómeno conocido en la genética de poblaciones como “cuello de botella” o deriva génica, donde, de la variación contenida en todas las semillas de una población, muy poca estará presente en la siguiente generación, pues de manera azarosa algunas variantes se excluyen en la muestra pequeña de semillas que se usan en cada ciclo agrícola. Por ejemplo, si en un costal tenemos frijoles negros y blancos en partes iguales, y sacamos a ciegas sólo 5, todos ellos podrían ser de un solo color, o en vez de tener 50% de cada uno como en la “población” original, podríamos tener diferentes proporciones. Por lo tanto, el manejo campesino tradicional puede ser un mecanismo que favorezca la fijación de transgenes en razas nativas siempre de manera azarosa y aún en casos en los que estos no confieren ventajas a los cultivos.

Adicionalmente, en el proceso de distribución de semilla se pueden mezclar involuntariamente semillas transgénicas con no transgénicas. Por ejemplo, durante su transportación a granel en contenedores que no están sellados totalmente o en vehículos de transporte terrestre o ferrocarril, al escaparse semillas durante su trayecto a lugares de almacenamiento. Dichas semillas pueden germinar cerca de parcelas de maíz no transgénicas y entrecruzarse con plantas de éstas. Al llegar a los sitios

de almacenamiento pueden mezclarse durante su empaquetamiento o cuando las bolsas o costales de semillas transgénicas se rompen y se mezclan con semillas no transgénicas guardadas en almacenes comunes. También, el uso de la misma maquinaria para manejar ambos tipos de semilla puede favorecer su mezcla a bajas frecuencias si ésta no es correctamente limpiada.

Si bien todos estos pasos involucrados en la distribución de semilla podrían teóricamente controlarse mediante el uso de contenedores sellados durante el transporte de semilla transgénica, el uso de almacenes exclusivos, criterios más rigurosos para el manejo de semilla cuya identidad es dudosa (destrucción), la limpieza de la maquinaria, los contenedores y el transporte utilizados, así como informar al agricultor de la posible presencia de semilla transgénica no distinguible visualmente de la no transgénica, la segregación total es imposible. Este es el caso aun en países como Estados Unidos, en donde el abasto de semillas es controlado por las compañías semilleras y existen regulaciones estrictas. En este país, más del 50% de los acervos de semillas de maíz, soya y canola que no deberían tener transgenes están contaminados con más de 1% de los mismos (Mellon y Rissler, 2004). Además, existen varios casos concretos que ejemplifican la imposibilidad de segregar, aun cuando se vigila que esto no suceda. Tal es el caso del escape de maíz *Starlink*, que produce una variedad de la proteína Cry (9c) de *Bacillus thuringiensis* que, por sus posibles efectos alergénicos al hombre, fue aprobada sólo para consumo animal. De manera inadvertida, esta proteína llegó a diversos productos alimenticios presentes en los anaqueles de los supermercados en Estados Unidos (Netting, 2000).

En Estados Unidos tampoco se ha podido contener al 100% las siembras experimentales de OGM que expresan fármacos o sustancias industriales, las cuales están sujetas a medidas de regulación y contención mucho más estrictas que los otros tipos de transgénicos. Dos casos de ello son: la contaminación en 2002 de la maquinaria y la posible cruza con otros maíces, de un maíz transgénico creado por ProdiGene que expresaba una vacuna para puercos (News Nature, 2007); y el escape reciente, en 2006, de una línea de Bayer de arroz Liberty Link (evento LL601), sembrado a nivel experimental en Estados Unidos y que inadvertidamente llegó al arroz destinado para exportación a Japón (News Nature, 2007). Más tarde se detectó en arroces de anaquel en muchos países del mundo. En México, el INE publicó en los periódicos que cerca de 90% de los paquetes de arroz en los supermercados estaban conta-

minados con esta variedad aún no autorizada para consumo humano. Esta situación es grave si pensamos que 70% del arroz que se consume en México proviene de Estados Unidos (Más adelante se discute con detalle la problemática de los maíces bioreactores que producen este tipo de sustancias industriales).

Al peligro de disrupción de los acervos genéticos *per se*, que puede tener consecuencias muy negativas para futuros planes de mejoramiento agronómico o para la seguridad alimentaria nacional e internacional, se le deben sumar los posibles efectos ecológicos no deseados. Entre ellos —ya discutidos ampliamente en otras contribuciones— se cuenta la posible aparición de insectos resistentes a las proteínas insecticidas de la variedades de maíz *Bt* comercializadas actualmente y la evolución de supermalezas tolerantes a los herbicidas que se tendrán que administrar, en cantidades cada vez mayores, al maíz transgénico tolerante a estos agrotóxicos. Esto ya es una realidad en países como Estados Unidos y Argentina (para ver lista de malezas resistentes, consultar: <http://www.weedscience.org/Summary/UspeciesMOA.asp?lstMOAID=12>) . Además, existe el riesgo de acumulación del glifosato en el ambiente, el daño o efecto nocivo a organismos no blanco y sus efectos multiplicativos y difíciles de predecir en los ecosistemas, la persistencia de los transgenes en variedades nativas o silvestres, y la acumulación de proteínas recombinantes en el suelo, con posibles efectos nocivos, entre otros. Algunos de estos puntos se desarrollarán más adelante.

Biorreactores vs. alimentos

Hasta el momento se han abordado los riesgos, incertidumbres y peligros de las líneas de maíz comercializadas actualmente, en las cuales los riesgos a la salud no son aparentes. Sin embargo, los estudios sobre los efectos en la salud se han hecho con base en el principio de equivalencia substancial que ha sido ampliamente criticado en Europa, el cual establece que una planta transgénica y otra no transgénica son iguales, y sólo difieren en la proteína producida en la primera (Millstone *et al.*, 1999). De tal manera que los efectos en la salud provocados por las plantas transgénicas generalmente son analizados limitando los estudios a los efectos de dichas proteínas recombinantes purificadas y aisladas del contexto de la planta en donde se producen. Es imperativo promover estudios sistemáticos usando, a lo largo de varias generaciones de

animales de laboratorio, las plantas transgénicas como tales. Algunos estudios independientes han alertado sobre ciertos efectos nocivos que no han sido ampliamente investigados en diferentes organismos (por ejemplo: Spiroux de Vendomois *et al.*, 2009).

En los últimos años, la tecnología de bioprocesos está teniendo un desarrollo vertiginoso, y el énfasis en el uso de la biotecnología de ADN recombinante está pasando de estar enfocada a proveer de insumos a la agricultura industrializada al uso de seres vivos o partes de ellos para la producción industrial de diversas sustancias no comestibles. Muchos procesos que antes se realizaban en reactores químicos ahora se llevan a cabo en células y organismos vivos. Enzimas y otras proteínas que facilitan procesos químicos o biológicos se producen ahora mediante técnicas industriales de ADN recombinante. Las enzimas son fundamentales para la producción de detergentes, textiles, productos derivados de la madera y el papel, y combustibles. Ahora también se está considerando la posibilidad de que las plantas se puedan modificar para la producción renovable de materias primas para lograr desarrollos en salud, energía, industria química y materiales industriales.

Debido a que las plantas pueden convertir la energía solar en energía química a un bajo costo en relación con el requerido para producir compuestos químicos y farmacéuticos en una fábrica, se han generado plantas transgénicas que sintetizan medicamentos farmacéuticos, vacunas, anticuerpos, reactivos para la investigación y químicos industriales. Otras ventajas de la producción de estos compuestos a partir de las plantas transgénicas, en relación con sus fuentes originales, son: que su rendimiento puede ser mayor, los problemas de disponibilidad se minimizan en aquellos casos en que sean difíciles de obtener y, en otros casos, su calidad puede ser superior.

Ciertamente, el desarrollo industrial basado en bioprocesos, como el uso de enzimas biológicas, plantea algunas alternativas más sustentables para la industria; sin embargo, el uso de plantas a campo abierto para estos fines implica riesgos importantes, sobre todo cuando se trata de plantas alimenticias. El mayor riesgo de usar plantas transgénicas para los fines anteriores es que cuando se usan plantas normalmente aptas para la alimentación humana se corre el grave riesgo de contaminar la cadena alimentaria, lo cual puede afectar a los consumidores, ya sean humanos, fauna doméstica o silvestre.

Hace 15 años se introdujeron las primeras plantas que producían sustancias farmacéuticas, experimentales e industriales. Algunos

ejemplos de estas sustancias son: colorantes, pinturas, detergentes, jabones, adhesivos, lubricantes, biopolímeros o plásticos y materiales estructurales. Los mercados para algunas de estas materias primas son de billones de dólares (por ejemplo, 5.1 para lubricantes, 14.6 para materiales compuestos, 43 para pintura y 77 para plásticos). El usar plantas alimenticias para la producción de tales sustancias implica un riesgo económico mayúsculo, ya que el área cultivable avocada a la producción de alimentos puede ser desplazada por siembras de plantas para producir sustancias industriales.

Entre las compañías que manufacturan compuestos a partir de plantas transgénicas se encuentran *ProdiGene* (aprotinina, avidina y tripsina), *Large Scale Biology* (aprotinina) y *Ventria Biosciences* (lactoferrina y lisozima). Sus productos están a la venta en el catálogo de reactivos de laboratorio de *Sigma Chemical Company*. Es preocupante el hecho de que la producción de estas moléculas se haga en plantas alimenticias. Para la producción de aprotinina, avidina y tripsina se eligieron los granos del maíz (*ProdiGene*). Para lactoferrina y lisozima, el arroz (*Ventria Biosciences*), mientras que para la aprotinina (*Large Scale Biology*) se escogió el tabaco.

Las líneas de maíz transgénico que han sido modificadas para producir de manera endógena sustancias industriales que son tóxicas para animales y humanos (fármacos como anticoagulantes, vacunas y otras) cancelan el uso del maíz como planta alimenticia (como los que producen plásticos), por lo que representan un peligro irrefutable para la cadena productiva y alimentaria de maíz. Dado este peligro, una parte significativa de la comunidad científica ha externado su rechazo al uso de plantas comestibles como biorreactores. En México, dentro de la LBOGM, así como en los reglamentos emanados de la misma, se ha establecido explícitamente que este tipo de desarrollos en maíz no será permitido en el territorio nacional. Sin embargo, en Estados Unidos se han sembrado más de 77,531.35 hectáreas a campo abierto de este tipo de cultivos, los cuales incluyen una larga lista de sustancias farmacéuticas, de uso industrial y experimental no explicitadas por prerrogativa de secreto industrial. Si bien estos campos están sujetos a controles más estrictos de bioseguridad que los de transgénicos para uso agrícola, ya han existido casos de escape —como se verá abajo—, y mezcla de este tipo de cultivos biorreactores con cultivos convencionales o con cultivos transgénicos no tóxicos. Existe un riesgo inminente de escape o este puede ya haber ocurrido en Estados Unidos (para un reporte al respecto, ver Andow *et al.*, 2004).

Debido a este riesgo, es urgente impedir en todo el mundo el uso de especies de plantas alimenticias para generar biorreactores. En el caso de México es particularmente preocupante. Dadas las condiciones productivas y de consumo de maíz en México —este cereal se produce en todo el territorio, hay un flujo de genes importante a largas distancias dado el flujo de semillas, y es consumido en grandes cantidades por un amplio sector de la población, de manera cotidiana, sostenida y, en muchos casos, con un nivel bajo o nulo de procesamiento—, una mínima infiltración de estas líneas de maíz biorreactor podría multiplicarse en cada paso de la cadena productiva y alimentaria de maíz en México.

Dado que en Estados Unidos no se está haciendo un escrutinio cuidadoso de los transgenes en sus acervos y que a México entran más de 10.2 millones de toneladas de este grano sin que se exija (como lo hace Japón para su cereal básico, que es el arroz) que esté etiquetado y segregado, la posibilidad de contaminación por alguno de los genes que expresan estas sustancias farmacéuticas o industriales es un riesgo latente que no se está monitoreando y mucho menos previniendo.

A la fecha, es paradójico que, además de todos los riesgos implicados en su producción, y que no es más barato producirlos en cultivos de plantas transgénicas bioreactoras que de manera convencional, no se hayan prohibido en todo el mundo. El caso más exagerado es el de la avidina, que era 110 veces más costosa en el año 2006 si era de maíz que si era de huevo (catálogo Sigma-Aldrich 2006-2007). En 2012 su costo es del doble si es de maíz que si es de clara de huevo (catálogo *Sigma-Aldrich* 2012). Debido a su peligrosidad, enfoquémonos en la producción de avidina en los granos de maíz. La avidina es una proteína normalmente presente en la clara del huevo de pollo en una concentración de 500 $\mu\text{g}/\text{ml}$. Esta proteína tiene la propiedad de unir muy fuertemente a la biotina con una de las constantes de disociación más bajas que se conocen [$K_a=10\text{-}15\text{ M}$] (Livnah, 1993).

Los primeros maíces transgénicos, obtenidos en 1995, contenían menos de 50 $\mu\text{g}/\text{g}$ de grano de avidina. Seis años después, en 2001, se obtuvieron maíces transgénicos con 10 mg avidina/g de grano (Howard, 2005). Un estudio demostró que los granos de maíz transgénico productores de avidina fueron tóxicos para los insectos, pero no para los ratones, cuando la concentración de avidina en el grano se encontraba entre 100 y 500 $\mu\text{g}/\text{g}$, por lo que se sugirió su uso como “insecticida” (Kramer *et al.*, 2000). Sin embargo, estas concentraciones se aproximan

a las de la avidina en la clara de huevo (500 $\mu\text{g/g}$) por lo que se podría esperar que, a largo plazo, tuviesen efectos negativos aun en vertebrados. Es urgente realizar estudios sobre los efectos en mamíferos de los granos de maíz transgénico con concentraciones de avidina del orden de 10 mg avidina/g de grano, que pueden ser más tóxicas.

¿Qué efectos tiene el consumo de granos de maíz productores de aptotina, un inhibidor de proteasas de serina, o de la tripsina, una proteasa? La aptotina se ha usado como agente antihemorrágico durante la cirugía de *by-pass* de arterias coronarias, y se ha visto que aumenta el riesgo de muerte postoperatoria a largo plazo, además de causar serios problemas de toxicidad renal e isquemia durante la cirugía (Mangano *et al.*, 2007). Además, otro estudio demostró que cuando se alimentan abejas con polen al que se ha agregado aptotina (0.25 mg/g), éstas mueren prematuramente (Malone *et al.*, 2001). La tripsina es una enzima que normalmente ayuda al proceso digestivo, sin embargo esto no debe impedir que se hagan estudios sobre los efectos del consumo de granos de maíz con altas concentraciones de la enzima. La lactoferrina es una proteína con alta afinidad por el hierro, con propiedades antimicrobiana y antiinflamatoria (Conneely, 2001). No existen informes en la literatura acerca de los efectos de su ingestión vía plantas transgénicas.

En 2005 se llevaron a cabo pruebas clínicas de fase I o II para al menos otros 30 productos farmacéuticos producidos en plantas transgénicas (Ma *et al.*, 2005). Destacan las vacunas, como la toxina estable al calor de *E. coli* (diarrea), la HbsAg (hepatitis B), la proteína de la cápside del virus Norwalk (diarrea) y la glicoproteína de la rabia; los anticuerpos, como LSBC scFVs (contra el linfoma que no es de Hodgkin), la avidina (cáncer colorrectal), caroRX (caries dental); y otros productos como la lipasa gástrica (fibrosis quística y pancreatitis) y el factor intrínseco humano (deficiencia de vitamina B12). Las plantas en las que se están produciendo son el maíz, la papa, la lechuga, la espinaca, *Arabidopsis* y el tabaco (Ma *et al.*, 2005). Exceptuando a *Arabidopsis*, todas éstas son plantas de consumo humano habitual.

Si bien se podría vislumbrar que en el futuro este tipo de tecnologías podrían reducir los costos de estos productos al consumidor, no deja de ser peligroso que primordialmente se usen cultivos alimenticios para su producción, pues muy fácilmente pueden pasar a la cadena alimentaria vía polen o contaminación de plantas “voluntarias” en ciclos agrícolas posteriores destinados a la alimentación. Este tipo de eventos ya ocu-

rieron y un caso bien documentado es el del maíz productor de avidina de la compañía *ProdiGene*. En 2002 el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (*USDA*) impuso una multa de 250,000 dólares más el pago de 2,800,000 dólares porque en 2001 abandonaron en Nebraska un campo de maíz transgénico productor de fármacos y, en el 2002, permitieron la siembra, en el mismo terreno, de soya destinada para alimento (Fox, 2003). La soya fue cosechada y se mezcló con semillas de los maíces “voluntarios” del ciclo agrícola anterior que crecieron entremezclados. En Iowa la misma compañía contaminó un campo de 63 hectáreas de maíz con polen de maíz productor de fármacos, el cual se tuvo que destruir. En la actualidad *ProdiGene* ya está fuera del mercado. ¿Habrán ocurrido otros incidentes como el anterior sin que haya documentación al respecto?

¿Por qué se han usado cultivos de interés alimentario para la producción de este tipo de compuestos? En primer lugar porque es legal, ya que las autoridades encargadas de evaluar las solicitudes de las compañías lo han autorizado. Otras razones son las económicas: se prefiere usar plantas de alto rendimiento, para cuyo cultivo se tienen mejores conocimientos (por ejemplo: maíz, arroz, papa), que plantas no cultivadas. Sin embargo, este tipo de justificaciones cada vez tienen menor aceptación entre el público y aún dentro de la industria, pues el sector agro-alimentario se ha manifestado en contra del uso de estas especies con fines farmacéutico-industriales (Fox, 2003). Además, hay que agregar que los cálculos económicos de la rentabilidad de estas tendencias transgénicas nunca incluyen los costos de los posibles riesgos a la salud y el ambiente. A la fecha, la superficie con plantas transgénicas farmacéuticas cultivadas en campo en Estados Unidos es sumamente pequeña si se le compara con la destinada a alimentos. En el período de 2004 a 2007 se había acumulado un total de 195 hectáreas sembradas con este tipo de cultivos (www.aphis.usda.gov/brs/ph_permits.html). Es de llamar la atención que si esta nueva industria apenas está comenzando, y son contadas las siembras que se han hecho, hayan ocurrido casos tan desafortunados como el de *ProdiGene*. Sería de esperarse que aun con reglas más estrictas para su cultivo ocurrieran este tipo de eventos, sobre todo si aumentara considerablemente la superficie plantada, tal como lo vaticina este sector industrial, que han sometido solicitudes para sembrar miles de hectáreas.

Las plantas también sirven como fuente de energía (por ejemplo, en la producción de etanol, que ya se combina con la gasolina como

combustible de autos), aunque por ahora sólo se usa en aproximadamente 1% del total del consumo de combustibles. En la actualidad, la producción de etanol a partir de plantas no resulta energética ni económicamente eficiente, por ello están también explorándose otros combustibles más complejos.

Las plantas también son fuente natural de otras sustancias como vitaminas, proteínas usadas en medicina o en investigación (carbón activado, fenoles y surfactantes usados en la producción industrial). En Estados Unidos se proyecta que para 2090 habrá un 50 y 90% de crecimiento en el uso de bioenergía y bioproductos de uso industrial o farmacéutico, respectivamente. Se espera que la mayor parte de este aumento se derive de plantas de uso agrícola modificadas mediante biotecnología de ADN recombinante. Lo anterior plantea un cambio total en el panorama agrícola del mundo, que pasará de uno enfocado a la producción de alimentos, forrajes y textiles, a uno centrado en el desarrollo industrial basado en la producción de insumos para la industria (energética, farmacéutica o química y de materiales en general).

Este cambio implica transformaciones en la organización económica, ganancias mayúsculas para los dueños de las patentes e industrias en cuestión, y también amenazas importantes para la producción de alimentos, alteraciones en la forma de vida de los productores agrícolas, en el campo y el ambiente, así como riesgos sin precedentes. Muchos de estos escenarios sugieren que muy probablemente no habrá un desarrollo sostenible ni siquiera para las industrias promotoras. Si este es el caso, las plantas no serán, como se espera, fuentes renovables de estos productos, pues si se mezclan, por ejemplo, líneas de maíz que producen diversas sustancias industriales entre sí, en pocos años este cereal básico para la alimentación de una proporción importante de la población humana se habrá vuelto un “basurero” de la industria farmacéutica que ya no se podrá usar para la alimentación, pero tampoco como biorreactor.

Una perspectiva de los planes de desarrollo de esta tecnología de bioprocesos en Estados Unidos se encuentra en: “National Agricultural Biotechnology Report #12 (www.cals.cornell.edu/extension/nabc).

El que se haya usado por muchos años las plantas como fuente de medicamentos naturales no justifica el transformarlas para expresar sustancias farmacéuticas, pues por tratarse de plantas alimenticias se anula su vocación primaria. También se esgrime el argumento de la

accesibilidad para argumentar a favor del uso de plantas que expresan fármacos. Por ejemplo, se propone que será conveniente expresar anticuerpos en plantas para minimizar costos. Sin embargo, los costos serán enormes si esto se hace en plantas de uso alimenticio en las cuales es imposible frenar la mezcla entre diversas líneas, como es el caso del maíz. Se está usando también el plátano, aunque en este caso el riesgo de contaminación no existe, porque no hay ya variedades con capacidad de reproducción sexual en la mayor parte de los países en donde se siembra. Esto mismo ha llevado a la homogeneidad genética de este cultivo y al incremento en su susceptibilidad a ciertas enfermedades que amenazan su viabilidad a nivel mundial.

Otro argumento en favor del uso de plantas para producir vacunas es que podrán ser accesibles para una mayor parte de la población sin necesidad de refrigeración. Esto sería favorable para hacerlas llegar a regiones remotas y pobres. Sin embargo, estos desarrollos son en su mayoría privados y como el caso del arroz dorado (*golden rice*), probablemente no serán exitosos salvo como negocio. En cualquier caso, habrá que evaluar cada caso y su contexto para considerar también el tipo y la magnitud de los riesgos que implica su producción y distribución en cada contexto. Pero, nuevamente, el uso de plantas como el maíz, que además de ser la base de la alimentación de un sector importante de la población mexicana y mundial, es de polinización abierta, implica riesgos mayúsculos que en ningún contexto compensa los beneficios sociales potenciales. Además será fundamental analizar cómo es que una economía basada en bioprocesos afectará la vida de agricultores y consumidores. En Estados Unidos se argumenta que los productores agrícolas estadounidenses no podrían subsistir sin el subsidio de su gobierno, el cual asciende a 30 billones de dólares al año. El desarrollo de una economía de bioprocesos se está visualizando como una vía para la sostenibilidad económica del sector agrícola de Estados Unidos. Por ejemplo, documentos acerca de la biotecnología que distribuyen algunas universidades de ese país (como Cornell University) plantean expresamente que: “los agricultores necesitan mayores precios por sus productos. Si ellos cultivan maíz biorreactor que produce alguna proteína específica para usos como medicina, esto requerirá prácticas productivas más sofisticadas y un aumento en el valor de sus productos crudos”. Sin embargo, que para el caso del maíz y sin importar cuán sofisticadas sean estas prácticas, el riesgo de contaminación y mezcla es inevitable y sus consecuencias devastadoras para la cadena productiva

y alimentaria del maíz. Además, aun en el caso de que dichos riesgos no existieran, nada garantiza que no sean las grandes corporaciones biotecnológicas las que se queden con la mayor parte de las ganancias de la producción de fármacos en cultivos.

OGM: Impacto ambiental y en la salud

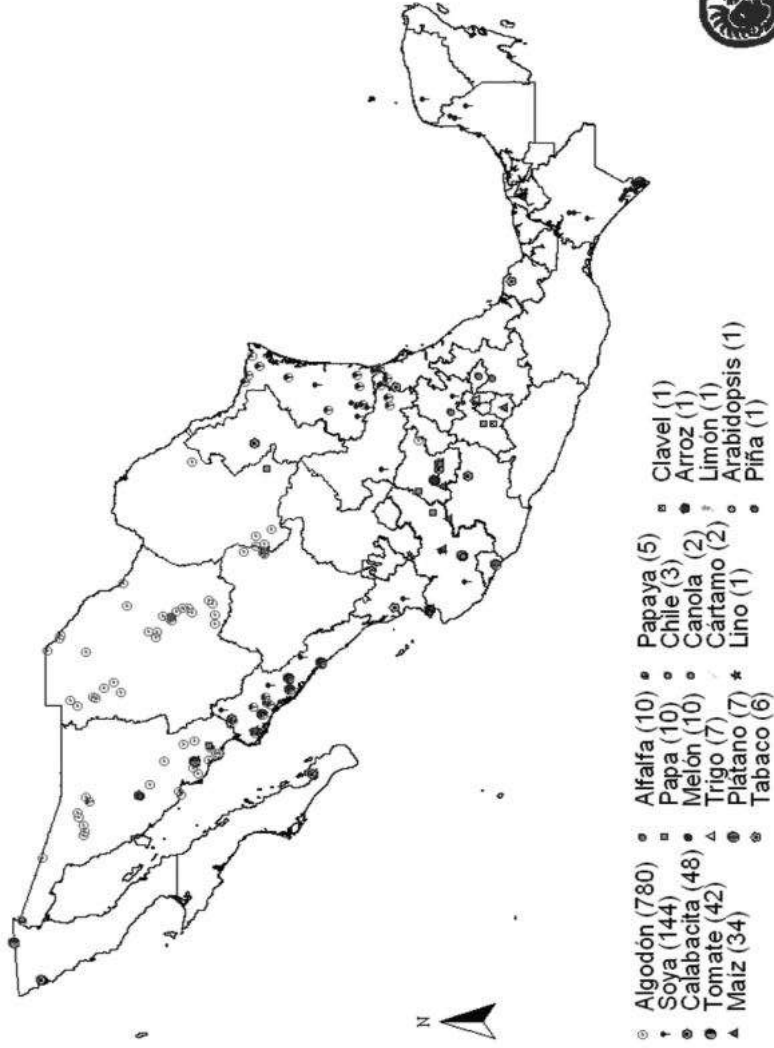
Los cultivos genéticamente modificados constituyen una tecnología controvertida que, a pesar del debate constante en torno a ella, sigue ganando terreno en las prácticas agrícolas de nuestro país (Figura 4). Debido a esto, es prioritario que el impacto ambiental provocado por éstos y los efectos en la salud de sus consumidores se documenten y estudien de manera constante, seria y objetiva. La evidencia científica generada en el contexto ecológico, genético, evolutivo, fisiológico, molecular y celular, debe ser la base del proceso conocido como “evaluación de riesgo”, cuya función es advertir sobre un daño potencial ocasionado por una actividad determinada, en este caso, la liberación de transgénicos en el ambiente.

Las preguntas en materia de salud e impacto ambiental vinculadas con los OGM no son una novedad, sin embargo, la realización y el seguimiento de trabajos que las aborden se han visto entorpecidos en muchas ocasiones por la falta de fondos para llevar a cabo este tipo de estudios por parte de investigadores independientes, y a que los productores de OGM se niegan a brindar los materiales para realizar los análisis (Traavik y Heinemann, 2007). A pesar de esto, existe evidencia suficiente para justificar la apelación al principio precautorio respecto de la liberación de OGM en el ambiente.

El daño ambiental

La evaluación del impacto ambiental de un cultivo genéticamente modificado es una parte fundamental del proceso regulatorio internacional llevado a cabo antes de que los OGM puedan ser sembrados en campo abierto, ya sea con fines experimentales o comerciales (Dale *et al.*, 2002). Con base en esto, cuatro categorías de daños ambientales se han relacionado con los organismos genéticamente modificados para efectos de las evaluaciones de los mismos (Committee on Environmental Impacts

Mapa 1 Autorizaciones de liberación de OGMs al medioambiente de 1988 a 2006 (CONABIO).



Los sitios de liberación se representan a nivel de cabecera municipal, con el fin de proteger la confidencialidad de los agricultores.



Associated with Commercialization of Transgenic Plants, 2002; Ervin *et al.* 2003; Ellstrand, 2006; Lu y Yang, 2009). El primero está relacionado con el flujo génico, del que ya hablamos en el capítulo 3, por lo que nos enfocaremos sólo en los tres restantes.

Daños asociados directa o indirectamente con los OGM

Los organismos genéticamente modificados por sí mismos pueden convertirse en un riesgo ambiental debido a los rasgos conferidos para mejorar su aptitud y rendimiento ecológico. Muchas plantas de cultivo pueden suponer un riesgo muy bajo, en la medida que son incapaces de sobrevivir sin ayuda humana. Con frecuencia, los rasgos que las hacen útiles para los seres humanos también reducen su capacidad para establecerse como poblaciones asilvestradas en los hábitats o ecosistemas agrícolas y no agrícolas. Por ejemplo, la falta del rompimiento de las semillas y de la latencia de las mismas reduce en gran medida la capacidad de un cultivo anual de persistir sin intervención humana (Gepts y Papa, 2003).

Sin embargo, es generalmente el caso que la mayoría de los cultivos tienen malezas y poblaciones silvestres en estrecha asociación con las formas cultivadas en alguna parte de su distribución (De Wet y Harlan, 1975; Ellstrand, 2003a). Dependiendo de la ubicación, algunos cultivos evolucionan hacia un fenotipo de tipo salvaje muy rápidamente y se pueden convertir en poblaciones asilvestradas viables en la generación F_2 . La existencia de estas poblaciones demuestra que los transgenes que confieren adaptación a importantes factores limitantes pueden crear riesgos significativos relacionados con la planta completa, especialmente si los efectos ecológicos de los cultivos GM son evaluados (Gepts y Papa, 2003; Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, 2002; Hancock, 2003). La frecuencia de las poblaciones asilvestradas de los cultivos también revela la dificultad de distinguir entre los daños provocados por el flujo de genes y aquellos provocados por toda la planta. El flujo de genes entre las poblaciones asilvestradas de los cultivos y los cultivos GM puede generar malezas que contienen adaptaciones derivadas de las plantas asilvestradas, tales como latencia de las semillas, que son suficientes para producir nuevos riesgos de plantas invasoras, por ejemplo, en agroecosistemas (Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, 2002).

Dependiendo de la expresión de los transgenes, los OGM podrían causar un daño ambiental en los factores abióticos asociados a los mismos, como por ejemplo, agua, suelo o aire, reduciendo la calidad del medio ambiente o reduciendo su sustentabilidad (Stotzky, 2000; US Environmental Protection Agency, 2000; Dale *et al.*, 2002; Dunfield y Germida, 2004).

Daños a los organismos no blanco (los cuales están asociados con los productos de los transgenes)

Los organismos no blanco son los individuos que no son el objetivo directo de los organismos genéticamente modificados. A la fecha, la gran mayoría de los estudios publicados que examinan esta problemática se han centrado en los cultivos *Bt*. Por ejemplo, el maíz *Bt* es actualmente empleado para controlar las plagas clave, el barrenador del maíz (*Ostrinia nubilalis*) y el barrenador del maíz del suroeste (*Diatraea grandiosella*) (Ostlie *et al.* 1997), mientras el arroz *Bt* está dirigido contra el barrenador del tallo estriado (*Chilo suppressalis*) y el barrenador del tallo amarillo (*Scirpophaga incertulas*) (Cohen *et al.* 1996). Cualquier otra especie afectada por el maíz *Bt* o el arroz *Bt* es una especie no blanco, en consecuencia, la lista de las posibles especies no blanco es muy extensa. Algunos OGM ni siquiera fueron creados con un blanco específico, sino que se desarrollan, por ejemplo, para sobreexpresar o inhibir alguna característica intrínseca, por lo que todos los organismos afectados por éstos serían entonces organismos no blanco. Estos organismos pueden ser convenientemente agrupados en cinco categorías que no son mutuamente excluyentes: 1) especies benéficas, que incluyen a los enemigos naturales de las plagas (crisopas, catarinas, avispas parásitas, microbios y parásitos) y a los polinizadores (abejas, moscas, escarabajos, mariposas, aves y murciélagos); 2) plagas no blanco; 3) los organismos del suelo; 4) las especies que no entraron en las categorías anteriores y fueron afectadas por los OGM; y 5) daños en especies presentes en otros sistemas productivos (Hilbeck, 1998a; Hilbeck *et al.*, 1998b; Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, 2002).

Evolución en organismos blanco

Los organismos blanco son las especies para las cuales fue diseñado el OGM. La evolución de la resistencia puede ocurrir en las plagas que son objeto de control por parte de o asociado con un OGM (Gould, 2000; Moyes *et al.*, 2002; Senior y Dale, 2002). Este es un peligro ambiental potencial, porque si la plaga se hace resistente al control, alternativamente, pueden ser utilizados más controles dañinos para el ambiente. Además, nuevas tácticas de control pueden ser llevadas a cabo antes de que sus riesgos ambientales sean completamente evaluados. Insectos, malezas y patógenos microbianos tienen el potencial para contrarrestar las tácticas de control utilizadas en su contra (Barrett 1983, Georghiou 1986, Georghiou y Lagunes 1988, Green *et al.* 1990, NRC, 2000). La resistencia de los insectos a los cultivos *Bt* se considera inevitable, y se están haciendo esfuerzos por la *US Environmental Protection Agency* (EPA) para controlar la evolución de resistencia a estos OGM. No se han utilizado virus resistentes a los OGM ampliamente, pero muchos virus han desarrollado resistencia a los cultivos convencionales. La evolución de las malezas tolerantes a herbicidas es un riesgo ambiental indirecto (Ramachandran, 2000; Van Gessel, 2001). Los OGM tolerantes a los herbicidas están diseñados de tal forma que herbicidas específicos puedan ser utilizados para controlar a las malezas, generalmente después de que el cultivo ha emergido. Estos controles de malezas postemergentes podrían permitir que los herbicidas se utilizaran sólo cuando sea necesario, reduciendo la aplicación de herbicidas a los cultivos. En algunos cultivos estos herbicidas postemergentes pueden reemplazar a otros que son más perjudiciales para el medio ambiente; sin embargo, el resultado puede ser el contrario, teniendo que utilizar herbicidas cada vez más dañinos para el ambiente, activos por más tiempo, o que dañen otros recursos naturales (Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, 2002).

Daños a la salud

Existen pocos trabajos diseñados para encontrar efectos fisiológicos y patológicos producidos por OGM. Más aún, Traavik y Heinemann (2007) encontraron un sesgo alarmante: de estos pocos trabajos, los realizados

por la industria no encuentran ningún problema, mientras que los realizados por grupos de investigación independientes encuentran efectos que ameritaban un mayor seguimiento pero que simplemente no se realizaron. De ahí que ellos hablen del término “investigación omitida”, cuyo ámbito evidencia riesgos importantes para la salud y que a su vez constituyen un campo de investigación que es necesario enriquecer. A continuación se presentan éstos:

Daños a la salud y procesos que constituyen áreas de investigación omitida. Riesgos y evidencias

Integración de construcciones transgénicas cerca de retrotransposones o secuencias repetitivas

Los riesgos son:

- la introducción de un nuevo promotor transgénico dentro o cerca de elementos retrotransposones o secuencias repetitivas puede conducir a alteraciones espaciales y temporales de los patrones de expresión de los genes localizados cerca o incluso lejos del inserto;
- un promotor fuerte de retrotransposón LTR puede promover la sobreexpresión del transgén;
- los retrotransposones pueden comenzar a “brincar” bajo la influencia de factores (*transacting factors*) reclutados por el inserto;
- pueden ocurrir nuevos arreglos genéticos en los insertos transgénicos, como deleciones o recombinaciones;
- estos eventos pueden tener efectos impredecibles a largo plazo y en la estabilidad genética del OGM, así como en su valor nutricional, alergenicidad y contenido tóxico.

Las evidencias:

- se han reportado deleciones (Mon810, GA21, Bt176), recombinación (T25, GTS 40-3-2, Bt176), secuencias repetitivas en tándem o invertidas (T25, GA21, Bt176) fragmentos transgénicos rearrreglados esparcidos por el genoma (Mon810) (Hernández *et al.*, 2003; Holck *et al.*, 2002; Collonnier *et al.*, 2003; Windels *et al.*, 2001);

- se han detectado integraciones de construcciones transgénicas cerca de retrotransposones (T25, Mon810, GA21) y secuencias repetitivas (Bt11 maize) (Rønning *et al.*, 2003; Jank y Haslberger, 2000).

El ADN transgénico y sus proteínas pueden permanecer en el tracto gastrointestinal de los mamíferos sin degradarse

Los riesgos son:

- el desarrollo de padecimientos crónicos;
- alteraciones en los patrones de metilación y transcripción del genoma de las células receptoras que resultan en niveles impredecibles de expresión genética y sus productos;
- incluso los insertos pequeños pueden conducir al llamado proceso de “desestabilización”, del que posiblemente surgen las células cancerosas malignas;
- existe la posibilidad de que las moléculas tóxicas, inmunogénicas/alérgicas y carcinogénicas entren al organismo vía las células de las paredes gastrointestinales.

Las evidencias:

- una serie de publicaciones han demostrado que el ADN foráneo y sus proteínas pueden no degradarse y persistir en el tracto gastrointestinal e inclusive ser absorbidos por los intestinos y transportados por la sangre a los órganos internos (Wilcks, 2004).

Alteración impredecible de las proteínas contenidas en los alimentos genéticamente modificados.

Los riesgos son:

- la influencia de los insertos de ADN transgénico en los patrones endógenos de expresión genética de la planta puede variar con los factores ambientales locales, el sitio de inserción, el número y la estabilidad de los insertos, los efectos del promotor trans-

- génico, los patrones de metilación del inserto y las mutaciones post-transformacionales en la secuencias codificantes y reguladoras de la proteína transgénica;
- la concentración de una proteína transgénica dada puede variar de acuerdo con la localización en el genoma del organismo receptor de la construcción de ADN transgénico, y a los factores ambientales que influyen la actividad de los elementos regulatorios transgénicos (como el promotor 35s CaMV);
 - los efectos biológicos de una proteína transgénica como la toxina *Bt Cry1Ab* o el inhibidor de α -amilasa pueden ser influenciados impredeciblemente por modificaciones post-traduccionales, *splicing* alternativo, codones de inicio alternativos para la transcripción, marcos de lectura quiméricos que resultan de la integración de la construcción transgénica en el marco de lectura del gen de la planta y la compleja formación con proteínas endógenas.

Las evidencias:

- la expresión transgénica del inhibidor-1 α -amilasa (áAI) del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Tendergreen) en el chícharo (*Pisum sativum* L.) condujo a la síntesis de una forma estructuralmente modificada de dicha proteína. Se demostró en ratas que el consumo del áAI modificado las predisponía a una inflamación de tipo antígeno específico CD4⁺ Th₂. Esto sugiere que la diversidad de las rutas de modificación traduccionales y post-traduccionales entre especies podría conducir a cambios discretos en la arquitectura molecular de la proteína expresada y su subsecuente función celular y antigenicidad (Prescott *et al.*, 2005).

Alergias

Los riesgos son:

- el producto transgénico puede cambiar la expresión de genes endógenos de la planta o las reacciones químicas que se llevan a cabo cuando se cocinan los alimentos, lo cual puede resultar en la exposición a compuestos alérgicos;

- las pruebas de alergenicidad se realizan con proteínas transgénicas producidas en bacterias, no en plantas. La glicosilación es un proceso que invariablemente sucede en las plantas mas no en las bacterias, así que en las pruebas de alergenicidad realmente no se está analizando esta modificación post-traduccional de la proteína transgénica y de las proteínas endógenas. Ciertas características alergénicas de las proteínas y también su resistencia a la degradación en el organismo pueden estar afectadas por la glicosilación.

Las evidencias:

- en Estados Unidos, en la cadena alimentaria se encontraron trazas de la toxina *Bt Cry9C* de un maíz transgénico (*Starlink*) no autorizado para consumo humano, lo que provocó graves problemas de reacciones alérgicas (Bucchini y Goldman, 2002);
- cuando se insertó un gen de la nuez de Brasil en la soya se reportaron casos de alergia fuerte en las personas que la consumieron, quienes nunca habían tenido problemas alérgicos con esta planta (Nordlee *et al.*, 1996).

Peligros asociados a los genes marcadores de resistencia a antibióticos

Los riesgos son:

- se sabe que existen muchos mecanismos que generan resistencia cruzada a antibióticos, por lo cual no se puede descartar una reacción de este tipo por organismos transgénicos que presentan un gen marcador de resistencia a determinado antibiótico;
- la kanamicina es un miembro de la familia de los antibióticos aminoglicósidos. Existen aproximadamente 17 clases diferentes de enzimas que los modifican, las cuales pueden inactivar hasta a 4 diferentes aminoglicósidos.

Las evidencias:

- se ha observado resistencia cruzada entre la kanamicina y otros aminoglicósidos empleados en el tratamiento de enfermedades

- humanas, como la gentamicina y la tobramicina (Mikkelsen *et al.*, 1999);
- el antibiótico neomicina reacciona de manera cruzada con la kanamicina B inhibiendo el ARN ribosomal 16S ribozima P RNasa y la maduración del ARNt (Mikkelsen *et al.*, 1999).

¿Una tecnología inadecuada para México?

Actualmente nuestro país está entre los 10 principales productores de maíz a nivel mundial y este cultivo ocupa el primer lugar en hectáreas cultivadas en México. Si bien el maíz se cultiva en todo el país, se hace de maneras diversas. En el norte, en estados como Sinaloa y Tamaulipas y algunas zonas del Altiplano o del Bajío, el cultivo de maíz se lleva a cabo en parcelas de gran extensión con una agricultura tecnificada y muchos insumos, como semilla mejorada, fertilizantes químicos y pesticidas. En el centro y sur de México se lleva a cabo en parcelas más pequeña y menos insumos, en el contexto de una agricultura diversificada de milpa, que incluye maíz acompañado comúnmente de frijol, chayote, calabacitas y hierbas comestibles o quelites, entre otros.

La milpa es un sistema agroecológico robusto y sustentable que asegura un abasto diverso de alimentos complementarios de elevada calidad nutricional. Además, la interdigitación, extensión y complejidad de los sistemas de producción de maíz en todo México hacen que el riesgo de flujo génico, y con ello los otros riesgos y peligros intrínsecos a los niveles inferiores descritos en las secciones 1, 2 y 3, sean muy grandes. Esto debería ser suficiente para cancelar el uso de los transgénicos de maíz disponibles en el mercado como opción tecnológica para nuestro país. Pero además, los desarrollos actuales son insuficientes para las condiciones de México (Acevedo *et al.*, 2011) y ni siquiera son sustentables en las condiciones para las cuales fueron desarrollados.

De los tipos de maíz transgénico disponibles comercialmente, el que se ha adoptado con mayor éxito es el maíz *Bt* resistente a insectos, el cual representa la mayor proporción del total de maíz transgénico sembrado a nivel mundial (James, 2007). Las proteínas *Cry* de los tipos de maíz transgénico más ampliamente comercializados (*Cry1Ab/Ac* y *Cry1c*) no son eficaces para el control de las plagas de maíz mexicanas, como *Spodoptera frugiperda* (Bravo *et al.*, 1998). Esto implica que, además de los riesgos y peligros implicados en el uso de maíz transgénico en

México, este desarrollo no proporcionan beneficios potenciales para el cultivo de maíz en nuestro país.

Las líneas de maíz transgénico tolerantes a herbicidas más usadas son las que expresan la proteína EPSPS recombinante proveniente de la cepa CP4 de la bacteria *Escherichia coli*. Esta línea es tolerante al herbicida glifosato que inhibe la producción de los aminoácidos aromáticos, en particular, el triptofano; la falta de esta molécula mata a las plantas. En México, esta variedad es incompatible con el policultivo de la milpa, ya que los herbicidas afectan a todas las plantas, y mataría a todas las especies que acompañan al maíz en la milpa. La primera consecuencia negativa del uso de este desarrollo sería el empobrecimiento de la dieta de aquellas familias que decidan utilizar semilla resistente a herbicidas. También se contaminarían los suelos y cuerpos de agua por el lixiviado de estos agroquímicos no biodegradables. Esto está sucediendo en países como Argentina, en donde se siembran grandes extensiones de cultivos de soya resistente al glifosato. En el Capítulo 5 se describen las consecuencias en salud de este agrotóxico.

Por otro lado, existe la posibilidad de transferencia vía flujo génico de genes de tolerancia a herbicidas hacia plantas como el teocintle. De este existen varias especies en México, que comúnmente conviven con el maíz y son interfértiles con el mismo. El teocintle es tolerado en ciertos niveles aparentemente porque favorece la transferencia de genes útiles al maíz. Sin embargo, el uso de maíz RR puede llevar a la introgresión del gen de tolerancia al teocintle y a la evolución, por exposición repetida al herbicida, de teocintles y otras malezas tolerantes, como ya se ha comentado en este texto.

Otros de los riesgos que han sido más ampliamente discutidos e investigados es la afectación de los insectos no blanco y la microbiota del suelo. Esto se puede dar en varios niveles: debido al consumo de proteínas *Cry* que lleva la planta o de los exudados de las raíces de una planta transgénica. En este sentido, estudios recientes comprueban el daño a catarinas del consumo de maíces transgénicos que producen *Cry1Ab* aumenta la mortalidad de estos insectos importantes para el control de plagas agrícolas (Hilbeck *et al.*, 2012). También se podría modificar la cadena trófica en los agroecosistemas por la eliminación de los insectos blanco, así como por el desarrollo de resistencia en éstos a las diferentes versiones de proteínas *Cry* expresadas por los distintos tipos de maíz transgénico, dando lugar a una carrera “armamentista” entre insectos resistentes y variedades de maíz *Bt*. Estos insectos resistentes eventual-

mente podrían volverse una plaga de grandes dimensiones en caso de salirse de control y evolucionar mecanismos que los hagan resistentes a una gran variedad de proteínas *Cry* expresadas por los transgénicos, en cuyo caso habría que echar mano de pesticidas tóxicos. Este escenario no es nada remoto y, por ello, desde un inicio fueron establecidas estrategias de retardo en la evolución de esta resistencia por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Estas estrategias no han sido seguidas ni suficientes en aquél país y lo serían menos en México.

Además de estas insuficiencias y riesgos se ha demostrado que los maíces transgénicos usados hasta ahora no aumentan de manera neta el rendimiento, pues no fueron desarrollados para ello (http://www.ucsusa.org/food_and_agriculture/our-failing-food-system/genetic-engineering/failure-to-yield.html). En algunos casos lo disminuyen, y en pocos implican aumentos menores a los que se podrían alcanzar con el uso de híbridos mejorados disponibles en las instituciones públicas de México. Los híbridos mexicanos, en combinación con otras prácticas agrícolas, sí podrían generar aumentos significativos en el rendimiento de maíz en México, cuyo promedio de cosecha por hectárea en la actualidad es de alrededor de 3 toneladas por hectárea, frente a las 12 toneladas por hectárea cosechadas en Estados Unidos y otros países. En México sólo se alcanzan estos niveles en algunos estados del norte, en el contexto de una agricultura industrializada, sin uso de transgénicos, como es el caso del estado de Sinaloa.

Consideraciones finales

La influencia de variables e interacciones ecológicas en un organismo recombinante pueden tener implicaciones ambientales y también riesgos potenciales a la salud de sus consumidores (incluyendo un buen número de especies silvestres, animales domésticos y el ser humano). Muchos de estos riesgos y peligros no se han considerado explícitamente en las evaluaciones de riesgo oficiales. Es el caso del uso de secuencias como el promotor viral (35S del CaMV) y los efectos en la integridad genómica de la transgénesis; la posibilidad de flujo génico a larga distancia por el intercambio o mezcla de diversos acervos de semillas, o la transferencia de genes a variedades locales cultivadas y parientes silvestres.

Lo anterior se suma al hecho de que en nuestro país no se cuenta con la infraestructura necesaria para llevar a cabo estudios de biomo-

nitoreo, los cuales necesitan del uso de herramientas de la biología molecular para detectar las secuencias transgénicas en una muestra de tejido, semilla o sus derivados. Los estudios de biomonitorio realizados en nuestro país hasta la fecha, estimulados por el primer reporte de la presencia de transgenes en razas nativas de maíz en la Sierra Norte de Oaxaca (Quist y Chapela, 2001), aún no cuentan con estándares unificados en términos de los esquemas de muestreo o de los métodos moleculares a usarse. Es urgente establecer dichos estándares para poder contar con datos confiables acerca de la presencia de transgenes en los acervos mexicanos, así como su tipo y sus vías de entrada, con el fin de establecer medidas para rectificar la posible contaminación (ver Capítulo 13).

Adicionalmente, para aquellos grupos campesinos que no deseen sembrar cultivos transgénicos por razones diversas (por ejemplo, para acceder a mercados preferenciales de orgánicos y otros que exigen que estén libres de transgénicos), la LBOGM debe establecer responsabilidad social del agente “contaminante”, quien debe asumir el costo del monitoreo y la remediación si es necesaria. Sin embargo, actualmente la LBOGM transfiere dicha responsabilidad y costos a las personas o grupos que no desean tener transgénicos en sus acervos de semilla.

Dada la evidencia presentada, el único mecanismo de protección real del maíz mexicano es, con base en el principio precautorio (ver recuadro y capítulo 10), reinstaurar la moratoria a la siembra de maíces transgénicos a campo abierto en México, bajo cualquier modalidad de uso, y a su vez realizar un estudio cuidadoso y extensivo de los transgenes que están penetrando la cadena productiva y de consumo de maíz, así como proponer estrategias para evitar esta infiltración por completo,

EL PRINCIPIO PRECAUTORIO

Cuando haya sospechas razonables de que una determinada tecnología pueda producir daños severos a la sociedad o al ambiente, y existan razones para pensar que tal daño puede llegar a ser irreversible, debe impedirse el uso de esa tecnología, aun cuando la evidencia disponible en el momento sobre estos daños potenciales no cumpla los estándares exigidos usualmente en las investigaciones científicas para considerar una hipótesis como verificada.

como fue propuesto por el informe de la Comisión de Cooperación Ambiental.

Alternativas tecnológicas para México

En México se podrían combinar los conocimientos y riqueza de maíces nativos con ciencia y técnicas de biología molecular y genética de frontera para buscar alternativas sustentables de mejoramiento genético asistido. Esta estrategia se podría complementar con otros avances tecnológicos que estén diseñados para resolver o prevenir problemáticas agrícolas, alimentarias o ambientales apremiantes, propias de nuestro país. Ante las incertidumbres del mercado de granos básicos, este tipo de desarrollos tecnológicos más apropiados a las condiciones mexicanas serían una de las vías más seguras para recuperar la autosuficiencia alimentaria en un marco de seguridad alimentaria, soberanía y agricultura sustentable.

Por todo lo anterior, es crucial y urgente que el gobierno mexicano: a) establezca con rigor qué tipo de transgenes están ya en las cadenas productivas y alimentarias del maíz; b) haga un escrutinio cuidadoso que asegure establecer cuáles son las vías de entrada de los transgenes encontrados; c) en caso de presencia de transgenes, que implemente mecanismos eficaces para no permitir que sigan entrando y con ello evitar la contaminación de nuestro acervo de maíz con transgenes que codifican para sustancias no aptas para el consumo animal y humano.

En un aspecto más general, el creciente impacto de la ciencia en la naturaleza y la sociedad hace inminente la necesidad de principios éticos en el quehacer científico, que incluyan consideraciones ambientales y económicas. La ciencia debe ejercerse con responsabilidad social y ambiental y todos los científicos debemos asumir activamente la responsabilidad de nuestro trabajo. Esto implica participar activa y transparentemente con otros sectores de la sociedad para evaluar, informar y ayudar a prevenir los riesgos que pueden derivarse de la aplicación de los resultados de nuestro trabajo en los distintos contextos ambientales y sociales que éstos puedan ser usados. Por ello, es importante fomentar una ciencia y un desarrollo tecnológico que incorporen consideraciones éticas, no sólo pertinentes para las relaciones entre individuos, sino también para la relación de los seres humanos con el resto de la naturaleza y consciente ante los efectos económicos y sociales que los desarrollos tecnológicos puedan tener en diversos contextos.

Referencias

- Acevedo, F., Huerta, E., Burgeff, C., Koleff, P., Sarukhán, J. (2011) Is-transgenic maize what Mexico really needs? *Carta a Nature*, 29(1), 23-24.
- Allenspach E, Rawlings D, Scharenberg A. (2003) *X-Linked Severe Combined Immunodeficiency*. In: Pagon RA, Adam MP, Bird TD, *et al.*, editors. Seattle (WA): University of Washington, Seattle; 1993-2013.
- Alvarez-Buylla, E.R, Benitez, M., Balleza Davila, E., Chaos, A. Espinosa-Soto, C. & Padilla-Longoria, P. et al. (2007) *Gene regulatory network models for plant development*. *Current Opinion in Plant Biology* 10: 83-91.
- Andow, D., Lamkey, K., Daniell, H., Nafziger, E., Gepts, P., Strayer, D. (2004) *Growing Concern: Protecting the food supply in an era of pharmaceutical and industrial crops*. Union of Concerned Scientists, 132.
- Baker, J.M., Hawkins, N.D., Ward, J.L., Lovegrove, A., Napier, J.A., Shewry, P.R., Beale, M.H. (2006) A metabolomic study of substantial equivalence of field-grown genetically modified wheat. *Plant Biotechnology Journal*, 4(4), 381-392
- Barrett, S.C.H. (1983) Crop mimicry in weeds. *Economic Botany*, 37, 255-282.
- Benz, B. (2001) Archeological evidence of teosinte domestication from Guila Naquitz, Oaxaca. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98, 2104-2106.
- Bravo, A., Sarabia, S., Lopez, L., Ontiveros, E., Abarca, C., Ortiz, A., Ortiz, M., Lina, L., Villalobos, F., Peña, G., Nuñez-Valdez, M.E., Soberón, M., Quintero, R. (1998) *Characterization of cry genes in a Mexican Bacillus thuringiensis strain collection*. *Applied and Environmental Microbiology* 64, 4965-4972.
- Bucchini, L. and Goldman, L.R. (2002) Starlink corn: a risk analysis. *Environ Health Perspect*, 110,5-13.
- Cohen, M.B., A.M. Romena, R.M., Aguda, A., Dirie, & F.L. Gould. (1996) *Evaluation of resistance management strategies for Bt rice*. In *Proceedings, Second Pacific Rim conference in biotechnology of Bacillus thuringiensis and its impact to the environment*. Bangkok: Entomology and Zoology Association of Thailand, 496-505.
- Collonnier et al. (2003) *Characterization of commercial GMO-inserts: A source of useful material to study genome fluidity?*. *Poster*.

- Committee on Environmental Impacts Associated with Commercialization of Transgenic Plants, Board on Agriculture and Natural Resources, National Research Council (2002) *Environmental effects of transgenic plants: The Scope and Adequacy of Regulation*. National Academies Press.
- D'Aiuto L et al. (2006) Evidence of the capability of the CMV enhancer to activate in transgene expression in mammalian cells. *DNA and Cell Biology*, 25,171-180.
- Dale, P.J., Clarke, B., & Fontes, E. M. (2002) Potential for the environmental impact of transgenic crops. *Nature biotechnology*, 20, 567-574.
- Doebley, J., Stec, A., Gustus, C. (1995) Teosinte branched1 and the Origin of Maize: Evidence for Epistasis and the Evolution of Dominance. *Genetics*, 141, 333-346.
- Dunfield, K. E., & Germida, J. J. (2004) Impact of Genetically Modified Crops on Soil- and Plant-Associated Microbial Communities. *J. Environ Qual*, 33(3), 806-815.
- De Wet, J.M.J. & J.R, Harlan. (1975) Weeds and domesticates: evolution in the man-made habitat. *Economic Botany*, 29,99-107.
- Ellstrand, N. C. 2003a. *Dangerous Liaisons? When Cultivated Plants Mate with Their Wild Relatives*. Baltimore, MD: Johns Hopkins Univ Pr., 244.
- Ellstrand, NC (2003b) Going to "Great Lengths" to Prevent the Escape of Genes That Produce Specialty Chemicals. *Plant Physiology*, 132, 1770-1774.
- Ellstrand, N.C. (2006) Scientists evaluate potential environmental risks of transgenic crops. *California Agriculture*, 60, 119-125.
- Editorial: Drugs into crops-the unpalatable truth (2004) *Nature Biotechnology*, 2(2).
- Editorial: Consequences (2006) *Nature Biotechnology*, 24 (368).
- European Food Safety Authority; EFSA. (2006) Guidance Document of the scientific panel on Genetically Modified Organisms for the risk assessment of Genetically Modified Microorganisms and their derived products intended for food and feed use. *The EFSA Journal*, 374, 1-115
- Ervin, D.E., R., Welsh, S.S. Batie y C.L. Carpentier (2003) Towards an ecological systems approach in public research for environmental regulation of transgenic crops. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 99, 1-14.
- Filipecki M. and Malepszy S. (2006) Unintended consequences of plant transformation: a molecular insight. *J Appl Genet*, 47, 277- 286.

- Fox, J.L. 2003. Puzzling industry response to Prodigene fiasco. *Nature Biotechnology* 21, 3-4.
- Gasson M y Burke D. (2001) Scientific perspectives on regulating the safety of genetically modified foods. *Nat Rev Genet*, 2, 217-22.
- Georghiou, G.P. (1986). *The magnitude of the resistance problem*. In *Pesticide Resistance: Strategies and Tactics for Management*. National Research Council. Washington, DC: National Academy Press, 14-34.
- Georghiou, G. P., and A. Lagunes. (1988) *The Occurrence of Resistance to Pesticides: Cases of Resistance Reported Worldwide Through 1988*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Gepts, P y R. Papa (2003) Possible effects of (trans) gene flow from crops on the genetic diversity from landraces and wild relatives. *Environmental Biosafety Research*, 2, 89-103.
- Gould, F. (2000) Testing Bt refuge strategies in the field. *Nat. Biotechnol*, 18, 266-267.
- Green, M.B., H.M. LeBaron, and W.K. Moberg, eds. (1990). *Managing Resistance to Agrochemicals: From Fundamental Research to Practical Strategies*. Washington, DC: American Chemical Society.
- Guilley H., Dudley R.K., Jonard G., Balazs E., Richards K.E. (1982). Transcription of Cauliflower Mosaic Virus DNA: Detection of promoter sequences, and characterization of transcripts. *Cell*, 30,763-773.
- Hacein-Bey-Abina, S., von Kalle, C., Schmidt, M., Le Deist, F., Wulfraat, N., McIntyre, E., Radford, I., Villeval, J., Fraser, C., Cavazzana-Calvo, M., and Fischer, A. (2003) *A Serious Adverse Event after Successful Gene Therapy for X-Linked Severe Combined Immunodeficiency*. *New England Journal of Medicine*, 348;3, 255-256.
- Hancock, J.F. (2003) A framework for assessing the risk of transgenic crops. *BioScience*. 53(5), 512-519.
- Hemm, MR et al. (2003) The Arabidopsis ref2 mutant is defective in the gene encoding CYP83A1 and shows both phenylpropanoid and glucosinolate phenotypes. *Plant Cell* 15, 179-194.
- Hernández et al. (2003). A specific real-time quantitative PCR detection system for event MON810 in maize Yield Guard based on the 3-transgene integration sequence. *Transgenic Research*, 12,179-189.
- Hilbeck, A. (1998a) Effects of transgenic *Bacillus thuringiensis* corn-fed prey on mortality and development time of immature *Chrysoperia carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) *Environ. Entomol*, 32, 1355-1361.

- Hilbeck, A., Moar, W.J., Pusztai-Carey, M., Filippini, A & Bigler, F. (1998b) Toxicity of *Bacillus thuringiensis* CryAb toxin to the predator *Chrysoperia carnea* (Neuroptera: Chrysopidae) *Environ. Entomol.*, 27, 1255-1263.
- Hilbeck, A., McMillan, J.M., Meier, M., Humbel, A., Schlapfer-Miller, J., Trtikova, T. (2012) A controversy re-visited: Is the coccinellid *Adalia bipunctata* adversely affected by Bt toxins?. *Environmental Sciences Europe* 24(10); <http://www.enveurope.com/content/24/1/10>
- Holck et al. (2002). '5'-Nuclease PCR for quantitative event-specific detection of the genetically modified MON810 MaisGard maize'. *Eur Food Res Technol*, 214, 449-453
- Howard, J.A. (2005). Commercialization of Biopharmaceutical and Bioindustrial Proteins from Plants. *Crop Sci.*, 45, 468-472
- James, C. (2007). 2007 ISAAA Report on Global Status of Biotech/ GM Crops. www.isaaa.org
- Jank and Haslberger (2000) Recombinant DNA insertions into plant retrotransposons. *Trends in Biotechnology*, 18, 326.
- Kapoor, M; Baba, A; Kubo, K; Shibuya, K; Matsui, K; Tanaka, Y; and Takatsuji, H. (2005) Transgene-triggered, epigenetically regulated ectopic expression of a flower homeotic gene pMADS3 in *Petunia*. *The Plant Journal*, 43, 649-661.
- Kohli A, Griffiths S, Palacios N, Twyman RM, Vain P, Laurie DA, Christou P. (1999) Molecular characterization of transforming plasmid rearrangements in transgenic rice reveals a recombination hotspot in the CaMV 35S promoter and confirms the predominance of microhomology mediated recombination. *The Plant Journal*, 17, 591-601.
- Kramer, K.J., Morgan, T.D., Throne, J.E. , Dowell, F.E. , Bailey, M. , Howard, J.A. (2000) Transgenic avidin maize is resistant to storage insect pests. *Nature Biotechnology*, 18, 670-674.
- Latham JR, Wilson AK, Steinbrecher RA. (2006)The mutational consequences of plant transformation.*J Biomed Biotechnol*,2006:1-7.
- Lakshminarayan, M.I, Kumpatla, S.P., Chandrasekharan, M.B., Hall, T. (2000) Transgene silencing in monocots. *Plant Molecular Biology*, 43, 323-346.
- Livnah, O., Bayer, E.A., Wilchek, M., Sussman, J.L. (1993) Three-dimensional structures of avidin and the avidin-biotin complex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 90(1),5076-5080.

- Lu y Yang (2009) Gene flow from genetically modified rice to its wild relatives: Assessing potencial ecological consequences. *Biotechnology Advances*, 27, 1083-1091
- Ma, et al. (2005) Molecular farming for new drugs and vaccines. *EMBO Reports* 6(7), 593-599.
- Malone, L.A., Pham-Delegue, M-H. (2001) Effects of transgene products on honey bees (*Apis mellifera*) and bumblebees (*Bombus* sp.). *Apidologie*, 32, 287-304
- Mangano et al. (2007) Mortality Associated With Aprotinin During 5 Years Following Coronary Artery Bypass Graft Surgery. *JAMA*, 297(5), 471-479.
- Matthews D et al. (2005) Toxic secondary metabolite production in genetically modified potatoes in response to stress. *J. Agric. Food Che.*, 53, 7766-7776.
- Matzke MA and Matzke AJM. (1996) Stable epigenetic states in differentiated plant cells: implications for somaclonal variation and gene silencing in transgenic plants. In: Russo et al., eds. *Epigenetic mechanisms of gene regulation*. NY: Cold Spring Harbor Press: 377-392.
- Mellon, M., Rissler, J. (2004) *Gone to seed: transgenic contaminants in the traditional food supply*. *Union of Concerned Scientists*, 80; http://www.ucsusa.org/food_and_agriculture/science_and_impacts/impacts_genetic_engineering/gone-to-seed.html
- Mikkelsen et al. (1999) Inhibition of RNase P RNA cleavage by aminoglycosides. *Proc Natl Acad Sci USA*, 96, 6155-6160.
- Millstone, E., Brunner, E., Mayer, S. (1999) Beyond 'substantial equivalence'. *Nature*, 401, 525-526.
- Moyes, C.L. et al. (2002) Barriers to gene flow from oilseed rape (*Brassica napus*) into populations of *Sinapis arvensis*. *Mol. Ecol*, 11, 102-112.
- Myhre, M.R., Fenton, K.A., Eggert, J., Nielsen, K.M. and Traavik, T. (2006) The 35S CaMV plant virus promoter is active in human enterocyte-like cells. *Eur Food Res Technol*, 222, 185-193.
- Netting, J. (2000) *Aventis gets short shrift over release of modified corn*. *Nature* 408, 395.
- News (2007) *Special report Out of bounds*. *Nature* 445, 132-133.
- Nordlee, J.A., Taylor, S.L., Townsend, J.A., Thomas, L.A., Bush, R.K. (1996) Identification of a Brazil-Nut Allergen in Transgenic Soybeans. *N Engl J Med*, 334, 688-692.

- NRC (National Research Council) (2000) *Genetically Modified Pest-Protected Plants: Science and Regulation*. Washington, DC: National Academy Press.
- Ostlie, K.R., W.D., Hutchinson, & R.L., Hellmich, (Eds) (1997) *Bt Corn and European corn borer. NCR publication 602*. St. Paul: University of Minnesota.
- Prescott, V.E., Campbell, P.M., Moore, A., Mattes, J., Rothenberg, M.E., Foster, P.S., Higgins, T.J.V. and Hogan, S.P. (2005) Transgenic expression of bean alpha-amylase inhibitor in peas results in altered structure and immunogenicity. *J Agric Food Chem*, 53, 9023-9030.
- Quist, D, Chapela, I (2001) Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414, 541-543.
- Ramachandran, S., Buntin, D., All, J.N., Raymer, P.L. & Stewart, C. N. (2000) Intraspecific competition of an insect-resistant transgenic canola in seed mixtures. *Agron. J.*, 92, 368-374.
- Rang A, Linke B, Jansen B, (2005) Detection of RNA variants transcribed from the transgene in Roundup Ready soybean. *Eur Food Res Technol*, 220, 438-443.
- Recillas-Targa F. (2006) Multiple strategies for gene transfer, expression, knockdown, and chromatin influence in mammalian cell lines and transgenic animals. *Mol Biotechnol* 34, 337-354.
- Romer S. et al. (2000) Elevation of the provitamin A content of transgenic tomato plants. *Nat Biotechnol*, 18, 666-669.
- Rönning et al. (2003) Event specific real-time quantitative PCR for genetically modified Bt11 maize (*Zea Mays*). *Eur Food Res Technol*, 216, 347-354.
- Saxena, D., Stotzky, G. (2001) Bt corn has a higher lignin content than non-bt corn. *American Journal of Botany*, 88(9), 1704 -1706.
- Senior, I.J. & Dale, P. J. (2002) Herbicide tolerant crops in agriculture: oilseed rape as a case study. *Plant Breed*, 121, 97-101.
- Shukla, V.K., Doyon, Y., Miller, J.F., DeKolver R.C., Moehle, E.A., Worden, S.E., Mitchell, J.H., Arnold, N.E., Gopalan, S., Meng, X., Choi, V.M., Rock, J.M., Wu, Y., Katibah, G.E., Zhifang, G., McCaskill, D., Simpson, M.A., Blakeslee1, B., Greenwalt, S.A., Butler, H.J., Hinkley, S.J., Zhang, L., Rebar, E.J., Gregory, P.D., Urnov, F.D., (2009) Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature*, 459, 437-442.

- Spiroux de Vendomois, J., Roullier, F., Cellier, D., Séralini, G-E. (2009) A Comparison of the Effects of Three GM Corn Varieties on Mammalian Health. *Int. J. Biol. Sci.*, 5(7),706-726
- Stotzky, G. (2000) Persistence and biological activity in soil of insecticidal proteins from *Bacillus thuringiensis* and of bacterial DNA bound on clays and humic acids. *J. Environ. Qual.* 29, 691-705.
- Steinbrecher, R. (2002) *The CaMV 35S Promoter Government and Corporate Scientific Incompetence: Failure to assess the safety of GM crops*. ECONEXUS Briefing December.
- Takano M et al. (1997). The structures of integration sites in transgenic rice. *Plant J.*, 11, 353-61.
- Traavik, T., Heinemann J. (2007) Genetic Engineering (GE) and Omitted Health Research: Still No Answers to Ageing Questions. *TWN Biotechnology & Biosafety Series*, 7, 36.
- Traavik, T., Nielsen, K.M. and Quist, D. (2007) Genetic Engineering of Living Cells and Organisms, In: Traavik, T and Lim, L.C. (Eds.) *Biosafety First-Holistic Approaches to Risk and Uncertainty in Genetic Engineering and Genetically Modified Organisms*, Tapir Academic Press Trondheim, Noruega. Chapter 4, 1-23.
- US Environmental Protection Agency. (2000) *Sets of scientific issues being considered by the Environmental Protection Agency regarding Bt plant-pesticides risk and benefit assessments* (SAP Report No. 2000-07, FIFRA Scientific Advisory Panel Meeting, October 18-20, 2000) (EPA, Washington, DC)
- Van Gessel, M.J. (2001) Glyphosate-resistant horseweed from Delaware. *Weed Sci.*, 49,703-705.
- Wang, H., Nussbaum-Wagler, T., Li, B., Zhao, Q., Vigouroux, Y., Faller, M., Bomblies, K., Lukens, L., Doebley, J.F. (2005) The origin of the naked grains of maize. *Nature*, 436, 714-719.
- Wilcks, A., van Hoek, A.H., Joosten, R.G., Jacobsen, B.B., Aarts, H.J. (2004) *Persistence of DNA studied in different ex vivo and in vivo rat models simulating the human gut situation*. *Food Chem Toxicol.* 42(3):493-502.
- Windels et al. (2001) Characterisation of the Roundup Ready soybean insert'. *Eur Food Res Technol* 213, 107-112;
- Zolla, L., Rinalducci, S., Antonioli, P., Riguetti, P.G. (2008) Proteomics as a Complementary Tool for Identifying Unintended Side Effects Occurring in Transgenic Maize Seeds As a Result of Genetic Modifications. *Journal of Proteome Research*, 7, 1850-1861.



CAPÍTULO 5
RIESGOS POTENCIALES NO PREVISTOS DE LOS ALIMENTOS
TRANSGÉNICOS



Rubén López-Revilla y Claudio Martínez Debat

En este capítulo, desarrollaremos dos aspectos que no han sido tratados en profundidad en el capítulo 4. En la primera parte, se discuten los riesgos a la salud de las proteínas Cry, y en la segunda parte, los efectos tóxicos del glifosato y sus formulaciones comerciales.

Riesgos de los alimentos derivados de plantas transgénicas que expresan proteínas entomopatógenas de *Bacillus thuringiensis*

Las toxinas entomopatógenas de Bacillus thuringiensis

Bacillus thuringiensis (Bt) fue descrito por Berliner en 1901, quien lo aisló de una polilla de la harina y designó la especie por la provincia alemana de Turingia, donde encontró la polilla infectada. Aunque esa fue la primera descripción, la especie bacteriana había sido aislada e identificada en 1901 en Japón y llamada *Bacillus sotto* por Shigetane Ishiwatari, durante la investigación de una enfermedad del gusano de seda. Bt fue considerado originalmente como un riesgo para el cultivo del gusano de seda, pero se ha vuelto un recurso central para el control microbiano de los insectos (Roh *et al.* 2007, Sanahuja *et al.* 2011).

Bt, miembro del grupo *Bacillus cereus* de bacterias Gram positivas esporuladas del suelo, se caracteriza por producir cristales proteínicos

durante la esporulación. Las bacterias que pierden la capacidad de formar cristales son indistinguibles de *B. cereus* y pueden ser transformadas como *B. thuringiensis* por un plásmido que contiene los genes que confieren la capacidad de formar cristales. Las proteínas cristalinas (Cry) y citolíticas (Cyt) se definen como proteínas de inclusión paraesporal de Bt con efectos tóxicos sobre algunos insectos y nemátodos (Cry), con actividad hemolítica (Cyt), o con secuencias similares a las de alguna proteína Cry o Cyt conocida (Bravo *et al.* 2007). Los genes que codifican las proteínas Cry/Cyt son transcritos durante la esporulación por una polimerasa específica sintetizada también durante la formación de las esporas (Sanahuja *et al.* 2011).

Las propiedades insecticidas de los cristales fueron descubiertas al observar que orugas de la polilla de la harina muertas estaban cargadas de esporas y cristales. El contacto con esporas o cristales no afectaba a las orugas sanas, pero éstas dejaban de alimentarse y morían cuando las esporas o cristales eran empleados para cubrir las hojas de las que se alimentaban. Luego de reconocer su potencial insecticida, en 1927 Mattes (citado por Sanahuja *et al.* 2011) aisló una cepa de Bt y obtuvo resultados promisorios en pruebas de campo contra el barrenador europeo del maíz, que condujeron al desarrollo de Sporeine, insecticida Bt comercial usado por primera vez en 1938 (Sanahuja *et al.* 2011).

A principios de los años ochenta se descubrió que los genes de las proteínas Cry se localizan en plásmidos transmisibles y fueron clonados genes de proteínas Cry tóxicas contra larvas del gusano del cuerno del tabaco (*Manduca sexta*) contenidos en el plásmido de Bt var. kurstaki HD-1. Pronto fueron clonados otros genes Cry, se demostró que con ellos las plantas pueden ser modificadas por ingeniería genética y en 1996 llegó al mercado el algodón Bt (Roh *et al.* 2007).

Mecanismo de acción y diversidad de las toxinas Cry

Las proteínas Cry y Cyt tienen alta especificidad para los insectos blanco y pertenecen a la clase de toxinas bacterianas llamadas toxinas formadoras de poros (TFP), las cuales son secretadas como proteínas hidrosolubles que requieren cambios conformacionales para insertarse en o traslocarse a través de las membranas celulares de sus hospederos (Bravo *et al.* 2007).

Hay dos grupos principales de TFP: 1) toxinas helicoidales- α cuyas regiones de α -hélice que forman el poro transmembranal y 2) toxinas de barril- β que al insertarse en las membranas conforman un barril compuesto por las asas de tiras β de cada monómero. La primera clase incluye a las toxinas Cry de tres dominios, a las colicinas, la exotoxina A y la toxina diftérica. Las toxinas de barril β incluyen a las toxinas Cyt y otras. Las TFP generalmente interactúan con receptores específicos en la superficie de las células del hospedero y en la mayoría de los casos son activadas por proteasas del hospedero después de que su unión al receptor induce la formación de una estructura oligomérica inserción-competente (Bravo *et al.* 2007).

Las proteínas Cry son tóxicas para lepidópteros, coleópteros, himenópteros, dípteros y nemátodos, en tanto que las toxinas Cyt se encuentran mayormente en cepas Bt activas contra dípteros. Las Cry comprenden al menos 50 subgrupos con más de 200 miembros y se definen como proteínas Bt de inclusión paraesporal con efectos tóxicos sobre un organismo blanco o secuencia similar a otra proteína Cry conocida (Bravo *et al.* 2007).

La identidad de la secuencia génica primaria es la base de la nomenclatura de las proteínas Cry y Cyt. Los miembros de la familia de tres dominios, grupo principal de las Cry, son moléculas globulares; un amplio grupo tiene cadenas polipeptídicas con el doble de largo que la mayoría de este tipo de toxinas. El extremo C-terminal de las protoxinas largas no tiene actividad tóxica y parece determinar la formación de los cuerpos de inclusión cristalinos (Bravo *et al.* 2007).

Las estructuras terciarias sugieren un mecanismo de acción similar entre las proteínas CryI de tres dominios. El dominio N-terminal (dominio I) es un haz de siete hélices α , con la hélice central hidrofóbica rodeada por hélices anfipáticas, del cual depende la inserción a la membrana y la formación del poro. El dominio II consta de tres tiras β antiparalelas con regiones de asas expuestas. El dominio III es un emparedado β . Las regiones expuestas en los dominios II y III están involucradas en la unión al receptor. La similitud del dominio I con los de otras toxinas TFP apoya su papel en la formación del poro. Las estructuras de los dominios II y III, similares a las de varias proteínas que unen carbohidratos, sugieren que los azúcares están implicados en el mecanismo de acción de las toxinas Cry de tres dominios (Bravo *et al.* 2007).

Diversificación y expansión de los cultivos Bt comerciales

Después de exitosas pruebas de laboratorio, en 1986 se hicieron en Estados Unidos y Francia las primeras pruebas de campo con tabaco Bt transgénico que expresaba un gen truncado que codificaba el extremo N-terminal (tóxico) de Cry1Ac de Bt var. kurstaki HD-73 bajo control del promotor 35S constitutivo del virus del mosaico de la coliflor y protegía a las plantas del daño por un gusano que infesta algodón, maíz y tomate. Luego se demostró que papas transgénicas que expresaban Cry3A de Bt var. tenebrionis eran mejor protegidas contra el escarabajo de la papa que con aspersión tópica; esas papas transgénicas fueron destinadas al mercado y poco después empezaron las pruebas con algodón, maíz y arroz (Sanahuja *et al.* 2011).

En 1995 la Agencia de Protección del Ambiente (EPA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos aprobó el primer registro de cultivos Bt de papa, maíz y algodón. Primero llegó al mercado la papa NewLeaf de Monsanto que expresa Cry3A, seguida por dos líneas transgénicas de maíz híbrido que expresan “CryAb” y protegen contra el barrenador del maíz. Monsanto liberó dos variedades de algodón que expresan una toxina Cry1Ac modificada. Luego fueron liberadas dos variedades de maíz Bt que expresan Cry1Ab, entre las que se encontraba la variedad YieldGard (evento MON 810). NewLeaf y sus sucesores fueron retiradas del mercado en 2002 y las variedades que contenían el evento 176 también fueron retiradas y reemplazadas por productos más lucrativos (Sanahuja *et al.* 2011).

En 1998 la EPA aprobó una línea de tomate resistente a insectos (evento 5345) que expresaba Cry1Ac, y en 2001 la variedad de maíz Herculex (evento TC 1507) que expresaba Cry1F. En 2002 fue aprobado el algodón Bollgard II (evento 15985) de Monsanto que expresaba dos toxinas Bt, Cry1Ac y Cry2Ab, y después el YieldGard Rootworm (evento MON 863), que expresa una variante sintética del gen cry3Bb1 de Bt var. kumamotoensis. En 2003 fue liberada YieldGard Plus, la primera variedad “apilada” de Monsanto (eventos MON 810 + MON 863) que expresaba Cry1Ab1 y Cry3Bb1 y fue desarrollada mediante cruce de dos variedades Bt liberadas previamente (Sanahuja *et al.* 2011).

Aunque Estados Unidos ha adoptado entusiastamente la agricultura Bt y usa la mayor cantidad de terreno para cultivos Bt o Bt apilados, estos cultivos han sido adoptados y están incrementándose en otros 25 países, excepto en Europa. El área global dedicada a cultivos Bt en

2009 era de más de 50 millones de hectáreas (36% de todos los cultivos biotecnológicos), conformada por 21.7 millones de hectáreas de cultivos sólo Bt y 28.7 millones de hectáreas de cultivos Bt “apilados” con tolerancia a herbicidas (Sanahuja 2011).

Argentina y Brasil ocupan el segundo y tercer lugar global en agricultura Bt, pero China y la India han hecho la adopción más rápida; ambos son grandes productores de algodón y China lo es especialmente de arroz. Una serie de líneas de arroz transgénico transformadas con genes *cryIA*, *cryIAb* y *cryIAc* modificados fueron evaluadas en pruebas de gran escala en 2007 y aprobadas para su liberación comercial en 2009, aunque su cultivo en gran escala está pendiente (Sanahuja 2011).

Inmunidad en humanos expuestos a pesticidas Bt

Bernstein *et al.* (1999) evaluaron a jornaleros agrícolas expuestos y no expuestos directamente a la aspersión de suspensiones de esporas Bt pesticidas. Los trabajadores altamente expuestos fueron los que principalmente dieron pruebas cutáneas positivas a varios extractos de esporas, las cuales aumentaron significativamente meses después de la exposición inicial. Las pruebas cutáneas positivas también aumentaron significativamente en trabajadores con exposición baja o intermedia. La hibridación con sondas específicas de ácidos nucleicos demostró que la mayoría de los lavados nasales de trabajadores expuestos eran positivos para el organismo Bt comercial. Los anticuerpos de inmunoglobulina G (IgG) e IgE específicos a los organismos Bt vegetativos fueron más frecuentes en el grupo de alta exposición, aunque en todos los grupos aparecieron anticuerpos IgG e IgE específicos. La atopias (alergias mediadas por el efecto de anticuerpos IgE) persistentes también fueron un factor de riesgo en los trabajadores con exposición intermedia y baja y pruebas cutáneas y serológicas positivas.

Alergias a los alimentos derivados de organismos transgénicos

La introducción de alimentos derivados de organismos transgénicos ha evidenciado los retos inherentes a la identificación de los alérgenos alimentarios y los individuos susceptibles.

Cualquier técnica para generar plantas puede modificar (aumentar o disminuir) la alergenicidad de los alimentos, pero la biotecnología tiene más potencial para introducir nuevas proteínas en la cadena alimentaria y por eso está sujeta a mayor escrutinio por las instancias regulatorias. Los comités de expertos han desarrollado algoritmos para la evaluación de riesgos de alergia por alimentos. Todos los aspectos de las evaluaciones actuales de alergia alimentaria, tanto las herramientas clínicas como las de laboratorio, representan desafíos técnicos que deben ser resueltos para introducir tales herramientas en el contexto regulatorio. Sin embargo, el principal reto científico es cómo evaluar las proteínas nuevas para las cuales no hay herramientas disponibles que permitan predecir los efectos de la exposición en la población general. Las experiencias con maíz StarLink y con cohortes ocupacionales expuestas a polvos de granos sugieren que el desarrollo de métodos post-comercialización puede servir para evaluar la salud ocupacional y de los consumidores. Por eso el algoritmo de la FAO/OMS para evaluar riesgos de alergias por alimentos debe ser revisado para incluir pruebas diagnósticas en los grupos de población susceptibles y afrontar los retos técnicos para evaluar las proteínas recién introducidas a la dieta (Bernstein *et al.* 2003).

Los genes *cryIAa* y *cryIAb* de Bt fueron los primeros en ser incorporados a semillas de maíz para aumentar su resistencia a insectos plaga. El gen *cry9c*, modificado para permitir que la proteína codificada persista en el intestino de las larvas, fue usado en la semilla del maíz StarLink. Aunque no se ha investigado la reactividad inmunológica cruzada entre las proteínas CryIA y Cry9c, éstas comparten homología en 75% de las secuencias de amino ácidos conservadas e identidad en los dominios que determinan su estructura terciaria (Bernstein *et al.* 2003).

El maíz StarLink, producido por Aventis, fue aprobado por la EPA como pesticida para la alimentación de animales. En septiembre de 2000 se confirmó que StarLink había contaminado la provisión de los alimentos para humanos. La aprobación de StarLink sólo para animales se basó en su contenido de toxina Cry9c, la cual no podía ser excluida como alérgeno dada su mayor termoestabilidad respecto a otras proteínas Bt (Bernstein 2003).

Efectos crónicos y subcrónicos de los alimentos transgénicos sobre la salud

En todo el mundo están aumentando los efectos crónicos sobre la salud tales como cánceres y enfermedades hormonales, reproductivas, nerviosas o inmunológicas, incluso entre los jóvenes. Las pruebas de toxicidad subcrónica pueden generar hallazgos estadísticos significativos para prevenir estos efectos nocivos de las sustancias químicas, pesticidas, fármacos y organismos transgénicos sobre la salud de los mamíferos antes de su comercialización (Séralini *et al.* 2009).

Las pruebas regulatorias de toxicidad generalmente se hacen *in vivo* con ratas antes de comercializar productos de organismos transgénicos empleados para preparar alimentos o ser ingeridos directamente, así como pesticidas, fármacos y las sustancias químicas mejor probadas. La forma de aplicar las normas depende de comisiones formadas por las instancias regulatorias. Algunas pruebas nutricionales para mamíferos son realizadas en cerdos o vacas y pueden tener mayor duración aunque sea con pocos animales. Las pruebas de toxicidad subcrónica para la mayoría de los organismos transgénicos si acaso son realizadas en última instancia y sólo en ratas, con dos dosis en 10 animales. En contraste, los efectos de corto plazo de otros productos se miden en tres especies de mamíferos (Séralini *et al.* 2009).

Las llamadas pruebas crónicas (que duran más de tres meses) dan más oportunidad de revelar enfermedades metabólicas, nerviosas, inmunológicas, hormonales o cancerosas y son realizadas ampliamente para pesticidas, fármacos y algunas sustancias químicas pero no para la comercialización de los organismos transgénicos liberados al ambiente (1995-2009). Este enfoque es debatible porque casi todos los organismos transgénicos contienen residuos de pesticidas nuevos tolerados (como la soya Roundup Ready) o producidos (como los insecticidas Bt del maíz, que son toxinas proteínicas modificadas) (Séralini *et al.* 2009).

Séralini *et al.* (2007) aplicaron una metodología estadística apropiada para probar los efectos del maíz Bt sobre la salud de mamíferos. Las ratas alimentadas con maíz transgénico modificado por Monsanto (evento MON 863) fueron comparadas con sus controles isogénicos más cercanos y luego los seis grupos de referencia fueron alimentados con las diversas dietas basadas en maíz que Monsanto añadió al estudio.

Fueron recabados datos por órganos, dosis y momento de exposición a la dieta. También fueron estudiados los efectos de la composición de la dieta sobre el metabolismo de ratas sin maíz transgénico, comparando sólo los grupos control y de referencia entre ellos para evitar sistemáticamente la vinculación de estos efectos a la dieta transgénica. Monsanto no hizo este estudio estadístico en primera instancia y sólo tomó en cuenta los efectos en ratas alimentadas con maíz transgénico a la dosis más alta y en los demás grupos. Para aislar los efectos del proceso de transformación transgénica de las demás variables sólo es válido comparar el organismo transgénico (en este caso MON 863) con su isogénico equivalente no-transgénico, por lo cual el análisis de grupos de alimentos no relacionados confunde en lugar de aclarar el efecto del evento MON 863.

El fin del análisis estadístico es decidir si el consumo de organismos transgénicos no tiene efecto (hipótesis nula H_0 verdadera) o si (H_1 falsa) sobre la salud de las ratas. El análisis no debe reducirse al cómputo de una colección de valores de probabilidad. El rechazo estadístico de la hipótesis nula H_0 no implica que el efecto sea biológicamente significativo y la incapacidad para rechazar H_1 no significa que ésta es cierta. Por lo tanto, debe evaluarse la potencia de la prueba de las hipótesis, que depende del tamaño de la muestra y del diseño experimental, el nivel de significancia de la prueba y la magnitud del efecto (que puede ser considerado como biológicamente significativo). Este aspecto clave parece haber sido totalmente soslayado en el diseño experimental y en el informe estadístico de Monsanto sobre MON 863. Más aún, cualquier hipótesis estadísticamente no significativa es excluida sistemáticamente con este método reductivo. Este error inadvertido genera resultados falsos negativos y riesgos para la salud con consecuencias para millones de personas y animales (Séralini *et al.* 2007).

La berenjena transgénica y su moratoria en la India

El centro de origen y diversidad de la berenjena es la India, donde es un alimento de consumo masivo como el arroz en el Oriente y el maíz en México. El Comité de Aprobación de Ingeniería Genética de la India (GEAC) recomendó el 14 de octubre de 2009 la liberación comercial de la berenjena transgénica llamada “Bt brinjal”, obtenida mediante selec-

ción de berenjenas modificadas genéticamente con un gen que codifica la proteína Cry1Ac.

Sin embargo, el 9 de febrero de 2010 el Ministro del Ambiente y Bosques (Minister of Environment and Forests, MoEF) del Gobierno de la India, en seguimiento de un proceso de consulta pública en siete ciudades, detuvo la recomendación del GEAC y declaró una moratoria por un periodo indeterminado.

El documento de la moratoria es un texto de 19 páginas que contiene las opiniones y respuestas del MoEF al proceso de consulta, así como opiniones selectas de varios grupos de interés incluidas en cuatro anexos de 532 páginas y está colocado en el sitio Web del Ministerio (www.moef.nic.in). Los anexos contienen un informe de las siete reuniones de consulta, cartas de los Ministros Jefes de los Estados, opiniones de científicos de la India y de otros países así como de individuos interesados y organizaciones de la sociedad civil.

Cotter (2005), Schubert (2009) y Fuentes (2010) advirtieron respectivamente sobre el riesgo potencial que representan el arroz, la berenjena y el maíz modificados genéticamente para expresar Cry1Ac e influyeron para que el Gobierno de la India detuviese la introducción y prohibiese la producción de berenjena Bt en su país. Sus argumentos se basan principalmente en las evidencias mencionadas, consistentes en la persistencia de los organismos vegetativos, la inducción de inmunidad sistémica y la aparición de alergias en trabajadores expuestos a la aspersión de preparaciones de esporas pesticidas Bt, así como a la inmunidad que la protoxina Cry1Ac recombinantes induce en ratones descubierta en México.

Los efectos inmunológicos de la protoxina Cry1Ac descubiertos por nuestro grupo parecen no haber sido comprendidos cabalmente, pues aunque influyeron para establecer la moratoria de la berenjena Bt en la India, también han sido citados para defender el consumo de plantas transgénicas que expresan proteínas Cry.

Tolerancia, patógenos adherentes y adyuvantes de mucosas

El tubo digestivo defiende de los efectos nocivos de toxinas, antígenos alimentarios y agentes infecciosos mediante factores innatos e inmunológicos específicos. Además de la integridad de la membrana mucosa y

de la digestión, numerosas células y mediadores inmunológicos específicos orquestan esos mecanismos defensivos. En el caso de los antígenos alimentarios el resultado usualmente es a favor de la tolerancia. Sin embargo, los defectos de esta barrera pueden llevar al desarrollo de respuestas inmunitarias aberrantes que incluyen reacciones alérgicas o de hipersensibilidad. La evidencia prevalente sugiere que la inmunidad saludable de las mucosas y un régimen de alimentación adecuado durante la infancia temprana están a favor de la tolerancia, aunque la predisposición genética y la carga de los alérgenos alimentarios facilitan el desarrollo de alergias (Chahine y Bahna 2010).

La mayoría de las muertes por infecciones son causadas por microorganismos patógenos adherentes que colonizan las superficies mucosas o se unen a ellas antes de atravesarlas y penetrar en el hospedero. Por eso una meta fundamental del diseño de vacunas es la inducción de inmunidad protectora duradera contra los patógenos adherentes de mucosas. Puesto que las vacunas aplicadas sobre las mucosas podrían ser administradas sin agujas, esto mejoraría su accesibilidad, seguridad y relación costo-eficacia. Los retos para la vacunación exitosa contra las infecciones por patógenos adherentes incluyen la pobre inducción de inmunidad en las mucosas, el escaso conocimiento de los mecanismos protectores y la disponibilidad de adyuvantes de mucosas —sustancias que potencian la respuesta inmunitaria de las mucosas contra los antígenos coadministrados con ellos— y sistemas de aplicación seguros y efectivos (Lawson *et al.* 2011).

Las enterotoxinas bacterianas elaboradas por *Vibrio cholerae* (toxina de cólera, CT) y la estrechamente relacionada toxina termolábil (LT) de *Escherichia coli* han sido estudiadas extensamente y ejercen efectos adyuvantes excepcionales sobre las respuestas inmunitarias mucosas y sistémicas. Ambas toxinas pueden ser administradas por rutas mucosas o sistémicas e incrementar un amplio rango de respuestas inmunitarias, desde la producción de anticuerpos hasta la inmunidad celular por células T CD8 citotóxicas o CD4 efectoras. La estructura química de las proteínas de estas toxinas son bien conocidas y su actividad de ribosilación mediada por adenosín-difosfato (ADP) ha sido bien estudiada, aunque todavía no comprendemos cabalmente cuáles células y eventos moleculares están implicados en su función adyuvante (Lycke 2010).

La protoxina CryIAc es un potente inmunógeno y adyuvante de mucosas

Los siguientes párrafos describen cómo fue descubierta y caracterizada la actividad inmunogénica y adyuvante de mucosas de la protoxina CryIAc.

En la segunda mitad de la década de los noventa Roberto Vázquez-Padrón, entonces investigador del Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de La Habana, hizo una estancia en la ciudad de México para producir esporas de Bt en el Departamento de Biotecnología del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV). A poco de haber llegado me propuso —pues sabía que en mi laboratorio del Departamento de Biología Celular nos interesaba la inmunidad de las mucosas— explorar si el gen *cryIAc* de una cepa de *E. coli* recombinante que traía consigo podría usarse para desarrollar vacunas de mucosas. Su idea era añadir al gen *cryIAc* secuencias nucleotídicas adicionales que codificaran epítomos vacunales relevantes de patógenos adherentes para probar si la inoculación oral de cepas bacterianas transformantes que expresaran la protoxina con los epítomos adicionales inducían inmunidad protectora contra los patógenos correspondientes.

Sugerí a Roberto que primero deberíamos ser capaces de inducir inmunidad contra la protoxina CryIAc administrada intragástricamente a ratones y que la persona más competente para realizar estos experimentos era Leticia Moreno-Fierros, quien acababa de obtener el doctorado con una tesis sobre la inmunidad intestinal contra trofozoítos de *Entamoeba histolytica*, el protozoario causante de la amibiasis.

Como esperábamos encontrar tolerancia absoluta a la administración intragástrica de la CryIAc recombinante, decidimos asegurar la respuesta inmunitaria intestinal contra ella coadministrándola por vía intragástrica junto con CT en un experimento con cuatro grupos de ratones: 1) control negativo (vehículo solo), 2) CryIAc sola, 3) CT sola, 4) CryIAc + CT. Aplicamos tres dosis a intervalos semanales (los días 1, 8 y 15) y el día 22 sacrificamos los ratones para titular los anticuerpos anti-CryIAc y anti-CT de las clases IgM, IgG e IgA en el líquido intestinal y el suero. Inesperadamente encontramos que la protoxina CryIAc es un inmunógeno de mucosas tan potente como CT, pues los títulos de anticuerpos anti-CryIAc de clase IgG e IgA en el líquido intestinal y el suero de los ratones inmunizados con CryIAc sola fueron tan altos como los títulos anti-CT. Por otra parte, los títulos de anticuerpos séricos anti-CT de los ratones que recibieron CryIAc + CT fueron ligeramente más

altos que los de los de ratones que recibieron CT sola, lo cual sugirió que *CryIAc* no sólo era inmunogénica sino que también parecía tener actividad adyuvante de mucosas (Vázquez *et al.* 1999).

Después confirmamos que la actividad adyuvante de mucosas de *CryIAc* es similar a la de CT para dos antígenos proteínicos coadministrados por vía intragástrica: seroalbúmina bovina y el antígeno de superficie del virus de la hepatitis B, vacunalmente relevante (Vázquez-Padrón *et al.* 1999).

Luego demostramos la actividad adyuvante de mucosas para los polisacáridos de neumococos en los lavados traqueobonquiales de ratones inoculados intranasalmente con polisacáridos coadministrados o conjugados covalentemente con *CryIAc* (Moreno-Fierros *et al.* 2003)

Empleando un modelo experimental de meningoencefalitis en ratones por amibas de vida libre de la especie *Naegleria fowleri*, cuyo punto de evaluación final era la muerte de los animales retados con amibas vivas por vía intranasal, demostramos que la administración intranasal previa de *CryIAc* protege parcialmente y la coadministración con amibas fijadas protege totalmente del reto (Rojas-Hernández *et al.* 2004).

Los experimentos que prueban la inmunogenicidad y adyuvancia de mucosas de *CryIAc* fueron agudos; en ellos analizamos solamente la respuesta humoral específica de anticuerpos de las clases IgM, IgG e IgA contra la protoxina y las proteínas, polisacáridos y células enteras mencionados y no descartan que *CryIAc* también pueda causar alergias. Por otra parte, el grupo de Leticia Moreno demostró después que la protección contra la meningoencefalitis amibiana inducida por coadministración intranasal de *CryIAc* se acompaña de inducción de anticuerpos específicos de IgA secretoria (Jarillo-Luna *et al.* 2008).

Nuestros resultados implican que los anticuerpos anti-antígenos alimentarios potencialmente inducibles por la actividad adyuvante de la *CryIAc* liberada en el intestino por el consumo de alimentos transgénicos que contengan la protoxina —eventual, subcrónica o crónica según la frecuencia y magnitud del consumo individual— podrían afectar la absorción de los antígenos y tener efectos nutricionales a mediano y largo plazo.

Por lo tanto los argumentos de Cotter (2005), Schubert (2009) y Fuentes (2010) parecen quedarse cortos sobre el riesgo potencial de la presencia de *CryIAc* en los alimentos transgénicos, pues consideran solamente la inmunogenicidad relacionada con las alergias alimentarias pero no la actividad adyuvante que facilitaría la inducción de anticuerpos de clase IgA específicos para los antígenos alimentarios cuya absorción podrían bloquear con efectos nutricionales de mediano y largo plazo.

Conclusión: los alimentos transgénicos no deben tener actividad adyuvante de mucosas

La Cry1Ac ingerida con los alimentos transgénicos que la contengan y consumida de manera eventual, subcrónica o crónica, al ser liberada a la luz intestinal podría inducir inmunidad contra ella misma y alergias y su potente actividad adyuvante podría inducir inmunidad contra múltiples antígenos alimentarios y tener efectos nutricionales nocivos.

La autorización para comercializar alimentos transgénicos debería por tanto incluir pruebas agudas, subcrónicas y crónicas que descarten no sólo su alergenicidad e inmunogenicidad sino también su actividad adyuvante de mucosas para los humanos y los animales que pudieran consumirlos.

Los efectos tóxicos del glifosato y sus formulaciones comerciales

La rápida expansión de los cultivos transgénicos Roundup Ready Genéticamente Modificados (RR GM) ha provocado grandes incrementos en el uso del glifosato. Con frecuencia se afirma que este herbicida es seguro para el ser humano y para el medio ambiente. Sin embargo, recientes estudios científicos permiten poner en tela de juicio estas afirmaciones.

El glifosato...

Más de un 75% de los cultivos transgénicos cultivados este año en el mundo han sido diseñados para tolerar herbicidas con glifosato como principio activo, cuya fórmula más común es *Roundup*, nombre comercial de la compañía *Monsanto*, y cuya patente expiró en 2000.

La tecnología llamada RR se basa en generar cultivos resistentes a este biocida, donde todas las plantas mueren y sólo sobreviven las GM (genéticamente modificadas) RR. La soja RR GM es el cultivo transgénico que más se planta en el mundo, con 64 millones de hectáreas en 2009 (Antoniou *et al.* 2010). El glifosato es un herbicida total, no selectivo y de amplio espectro. Fue desarrollado para eliminación de hierbas y de arbustos, en especial los perennes. Su aplicación mata a las plantas debido a que suprime su capacidad de sintetizar aminoácidos aromáti-

cos. Es absorbido por las hojas y no por las raíces. Puede aplicarse en las hojas, inyectarse en troncos y tallos, o asperjarse a tocones como herbicida forestal. Los seres humanos y otros seres vivos pueden estar expuestos al glifosato si se encuentran en la zona de fumigación o en sus cercanías, o lo ingieren. Puede penetrar al organismo por vía oral, dérmica (piel) o inhalatoria (pulmones). Este y otros herbicidas basados en el glifosato consisten en una solución acuosa de una sal del mismo, un surfactante (ej POEA, muy tóxico), y otras sustancias adyuvantes. El glifosato se degrada principalmente a AMPA (aun más tóxico que éste).

..no es tan inocuo como lo pintan

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, EEUU, 1993) y la OMS (1997) clasificaron a los herbicidas conteniendo glifosato como “levemente tóxicos”. Otra revisión en el 2000 (OMS) concluyó que “bajo las condiciones de uso presente y esperado, no hay potencial riesgo del herbicida *Roundup* en poner en riesgo de salud a humanos”. Pero en dos ocasiones la EPA encontró falsificaciones deliberadas de los resultados de las pruebas realizadas en los laboratorios contratados por Monsanto para estudiar los efectos del herbicida. En 1996 Monsanto fue acusada de publicidad falsa y engañosa de los productos derivados del glifosato. En 2007, esta compañía fue declarada culpable de publicidad engañosa por presentar al *Roundup* como biodegradable y alegar que el suelo quedaba “limpio” después de su uso.

Queda claro entonces que de parte de la agroindustria no se presentan estudios científicos rigurosos acerca de la supuesta inocuidad del glifosato y sus formulaciones comerciales (véase por ejemplo Séralini *et al.* 2007 y Séralini *et al.* 2009). Hoy el *Roundup*, está clasificado por la UE como «peligroso para el medio ambiente» y «tóxico para los organismos acuáticos».

Además, muchos estudios científicos independientes recientes han mostrado que las formulaciones y productos metabólicos de *Roundup* interfieren con el ciclo normal celular (produciendo apoptosis, o muerte celular programada) y causan la muerte de embriones, placentas, y células humanas *in vitro* aún en bajas concentraciones (a veces a 10.000 veces menos que la concentración recomendada para su uso), (Marc *et al.* 2002; Richard *et al.* 2005; Benachour *et al.* 2007; Benachour *et al.*

2009; Koller *et al.* 2012, Mesnage *et al.* 2012). Estos estudios de científicos norteamericanos y franceses permiten clasificar al glifosato como un disruptor endocrino (Antoniou *et al.* 2010).

Una señal de alarma...

La región del Cono Sur americano, y en particular la Argentina suelen presentarse como ejemplos de desarrollo exitoso basados en la aplicación extensiva del modelo transgénico, que incluye fumigaciones masivas con glifosato. En 2009 se utilizaron 200 millones de litros de este herbicida sobre más de veinte millones de hectáreas cultivables en la República Argentina. (Antoniou *et al.* 2010).

Luego de diez años de aplicación cada vez más intensa de este modelo transgénico, comenzaron a acumularse reportes provenientes de zonas donde se fumiga masivamente con glifosato: informes sobre malformaciones provenientes de San Cristóbal y Malabrigo, provincia de Santa Fe, con índices de 12 malformaciones sobre cada 250 nacimientos, con casos similares ocurriendo en Monte Cristo, provincia de Córdoba; Las Petacas, Santa Fe; Ituzaingó, Córdoba, etc. En los últimos 10 años han aumentado un 300 % los casos de leucemias y linfomas en menores de 15 años y un 400% el número de malformaciones congénitas al momento del nacimiento.

... y la respuesta de un científico comprometido con la sociedad

Andrés Carrasco es muy conocido entre los biólogos moleculares que estudian el desarrollo embrionario. Este investigador y gestor científico argentino fue el primero en describir los genes con homeoboxes (*Hox*) en vertebrados (Carrasco *et al.* 1984). También es un ciudadano que gusta de reflexionar acerca de problemas comunes a todos nosotros, desde su perspectiva crítica e ilustrada (ver por ejemplo su blog en: http://www.myspace.com/andres_carrasco). En 2008, luego de enterarse de los reportes antes reseñados, —y ante el perverso paradigma imperante de tener que demostrar dentro de un laboratorio que la realidad existe— decidió aplicar sus modelos de experimentación (anfibios y pollos) al estudio de los posibles efectos teratogénicos del glifosato y *Roundup*. Los resultados

de su equipo (Paganelli *et al.* 2010) son tan claros como el título de su trabajo: “Los herbicidas a base de glifosato producen efectos teratogénicos al afectar la vía de señalización del ácido retinoico”, en dosis de cientos a miles de veces menores que las utilizadas para fumigación.

El ácido retinoico

Es un potente morfógeno que actúa durante un corto y crítico período de tiempo durante el desarrollo embrionario (entre los días 20 a 35 durante la gestación del embrión humano). Se sintetiza endógenamente a partir de retinol mediante un par de oxidaciones secuenciales, que generan al compuesto activo ácido todo trans-retinoico (AR). Éste es capaz de unirse a sus receptores intracelulares heterodiméricos (RAR-RXR) y el complejo resultante actúa específicamente a nivel del ADN, regulando la transcripción génica. Algunos de los genes blanco de la acción de la vía de señalización del AR son, justamente, los mismos genes *Hox* que Carrasco descubrió hace 25 años, y que son responsables de generar y diferenciar a las diferentes partes del cuerpo a lo largo del eje antero-posterior. Otros (genes blanco del AR), actuando en las regiones más anteriores del embrión, son responsables de la neurogénesis, la formación de los ojos, así como de otras estructuras cefálicas.

Un exceso de AR durante el desarrollo embrionario tiende a transformar estructuras corporales anteriores en posteriores, y viceversa, así como provoca defectos en las estructuras medias del cuerpo (pudiendo producir ausencia de orejas, paladar fisurado, defectos en el Sistema Nervioso Central y hasta ciclopia), por lo que se desaconseja su administración durante el embarazo, dado su potencial carácter teratogénico.

Utilizando técnicas clásicas de la biología molecular del desarrollo (cultivo de embriones, microinyecciones, mediciones de actividad de genes reporteros, utilización de moléculas antagonistas, visualización de la expresión génica de genes marcadores por hibridaciones *in situ* e *in toto*, etc.) los investigadores demuestran que los herbicidas a base de glifosato y el propio herbicida alteran el patrón de expresión de genes marcadores de la cresta neural (*slug* y *krox-20*), la generación del patrón de rombómeras y la diferenciación neuronal primaria (visualizando el patrón de expresión de N-tubulina).

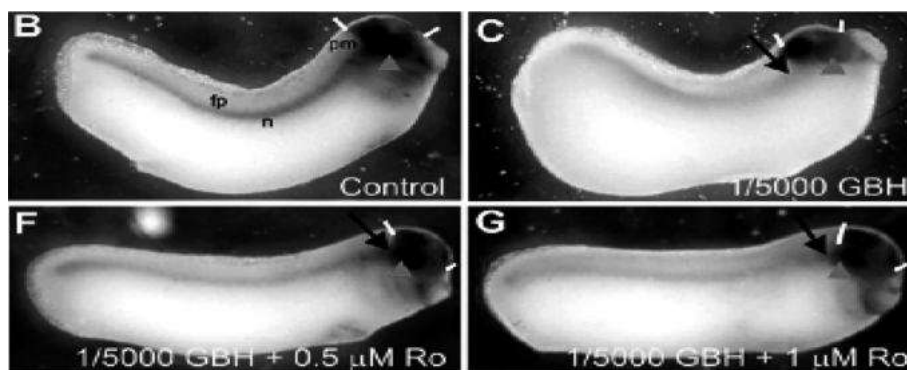
De cíclopes y microcéfalos

Dado que fueron observados defectos craneofaciales en niños recién nacidos en las áreas expuestas crónicamente a los herbicidas basados en el glifosato, se decidió explorar si la expresión de genes involucrados en el desarrollo de la cabeza se alteraba como consecuencia del tratamiento con estos herbicidas o por microinyecciones con glifosato. Consistente con los resultados anteriores, estos tratamientos produjeron importantes defectos en la cabeza de los embriones de anfibios, afectándose la expresión génica de marcadores cefálicos (*pax6*, *sox9*, *shh/otx2*) y de la línea media dorsal (*shh/otx2*).

Los efectos encontrados hasta aquí, (similares a una sobreexposición al AR) hacían pensar que —bajo estas condiciones experimentales— podría estar afectada esta vía del AR, lo que fue confirmado mediante la utilización de un plásmido reportero RAREZ y del antagonista del AR llamado Ro 41-5253 (ver Fig. 1).

Todos estos efectos (de los herbicidas a base de glifosato y el propio glifosato) fueron probados asimismo en embriones de pollos, lo que

Figura 1

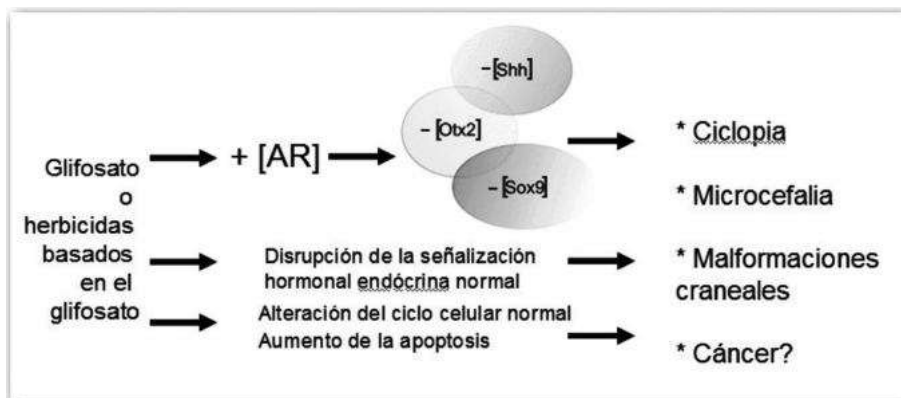


El fenotipo inducido por los herbicidas basados en glifosato (GBH) es mediado por un aumento de la señalización del Acido Retinoico. Visualización de la expresión génica de genes marcadores (*shh* y *otx2*) por hibridaciones *in situ* e *in toto* en embriones de anfibios (*Xenopus laevis*). B) Embrión control (sin tratamiento). C) Embrión tratado con GBH diluido 5000 veces manifestando microcefalia y acortamiento del cuerpo. F,G) Embriones tratados como en C) con el agregado de diferentes cantidades de Ro (un antagonista del AR). Ro revierte el fenotipo producido por GBH, rescatando la elongación del eje antero-posterior y la expresión de *shh* y *otx2*. Extraído y modificado de Paganelli et al, 2010.

extiende la validez del modelo experimental (Paganelli *et al.*, 2010). La conservación de la mecánica, regulación genética, especificación y determinación de territorios y poblaciones celulares durante el desarrollo embrionario a lo largo de toda la escala filogenética, ya bien establecida desde los años 80 con el descubrimiento de los programas génicos que dirigen a la morfogénesis (genes *Hox* y vías de señalizaciones inter e intracelulares), así como los avances en la interpretación de las bases evolutivas de los vertebrados, permiten inferir desde el principio de precaución de la ciencia médica que las alteraciones descritas son efectivamente extrapolables al desarrollo de cualquier organismo vertebrado, inclusive, claro está, el ser humano (Fig. 2).

Contrariamente a lo que afirma la agroindustria, la FDA (*Food and Drug Administration*, EEUU) nunca autorizó a algún producto transgénico como seguro para la salud. Por el contrario, se han desregularizado a los alimentos transgénicos, determinando que son «sustancialmente equivalentes» a sus homólogos no transgénicos y que no requieren ninguna evaluación especial de seguridad. Sin embargo, el término «equivalencia sustancial» nunca ha sido definido científica o jurídicamente... Esta supuesta equivalencia se cae a pedazos cuando vastos sectores de la población aparecen afectados directamente por el cultivo de transgénicos. Si tenemos en cuenta que además estamos expuestos todo el tiempo

Figura 2



Efectos del glifosato o herbicidas basados en el mismo, de acuerdo a los estudios de Marc *et al.* 2002; Richard *et al.* 2005; Benachour *et al.* 2007; Benachour *et al.* 2009; Paganelli *et al.* 2010. +: aumento,-: disminución, []: concentración.

a la ingesta de glifosato a través de los alimentos preparados a partir de cultivos GM (quedan restos de glifosato en los granos de los cultivos fumigados —hasta 17 mg/kg en granos de soja, siendo el nuevo límite permitido de 20 mg/kg, y que Carrasco trabajó con dosis diez veces menores—) sólo resta esperar a ver en qué termina este experimento a escala global.

Un resultado frecuente de las malformaciones fetales es el aborto espontáneo, y —en las zonas expuestas al glifosato en la Argentina— no es infrecuente ver hasta cinco abortos espontáneos seguidos en una misma mujer. En marzo de 2010, una querrela impulsada por residentes de Santa Fe (Argentina) fumigados con glifosato, resultó en una prohibición, por parte de una corte regional, de aplicar glifosato cerca de las áreas pobladas en esa provincia argentina. Este fallo es muy importante, porque por fin se ha aplicado el principio precautorio y revierte el peso de la prueba, no son los pobladores los que deben probar la toxicidad del herbicida, sino el gobierno y los productores de transgénicos los que deben de probar que es “seguro”.

Referencias

- Antoniou, M., Brack, P., Carrasco, A.E., Fagan, J., Habib, M., Kageyama, P., Leifert, C., Nodari, R.O. y W. Pengue, (2010). Soja transgénica: ¿sostenible? ¿responsable?. En http://www.gmwatch.org/files/GM-soy_Sust_Respons_SUMMARY_SPA_v1.pdf.
- Benachour, N. y G.E. Séralini. (2009). Glyphosate formulations induce apoptosis and necrosis in human umbilical, embryonic, and placental cells. *Chem. Res. Toxicol.*, 22, 97-105.
- Benachour, N., Sipahutar, H., Moslemi, S., Gasnier, C., Travert, C. y G.E. Séralini. (2007). Time- and dose-dependent effects of roundup on human embryonic and placental cells. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, 53, pp. 126-33.
- Bernstein, I. L., J. A. Bernstein, *et al.* (1999). Immune responses in farm workers after exposure to *Bacillus thuringiensis* pesticides. *Environ Health Perspect* 107(7), 575-82.
- Bernstein, J. A., I. L. Bernstein, *et al.* (2003). Clinical and laboratory investigation of allergy to genetically modified foods. *Environ Health Perspect* 111(8), 1114-21.

- Bravo, A., S. S. Gill, *et al.* (2007). Mode of action of *Bacillus thuringiensis* Cry and Cyt toxins and their potential for insect control. *Toxicon* 49(4), 423-35.
- Carrasco, A.E., McGinnis, W., Gehring, W.J. y E.M. De Robertis. (1984). Cloning of an *X. laevis* gene expressed during early embryogenesis coding for a peptide region homologous to *Drosophila* homeotic genes. *Cell*, 37, 409-414.
- Cotter, J. (2005). *Genetically engineered Bt rice-food safety concerns and environmental dangers D. o. B. S. Greenpeace Research Laboratories*. Exeter EX4 4PS, UK: University of Exeter.
- Chahine, B. G. and S. L. Bahna (2010). The role of the gut mucosal immunity in the development of tolerance against allergy to food. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 10(3), 220-5.
- Fuentes, A. C. D. (2010). *Carta dirigida al Gobierno de México el 2 de marzo de 2010 en la que expone los argumentos de la carta del Dr. Schubert aplicados al maíz transgénico en México*, UCCS: <http://www.unionccs.net/article.php?story=argumentos-maiz-transgenico-mexico>.
- Jarillo-Luna, A., L. Moreno-Fierros, *et al.* (2008). Intranasal immunization with *Naegleria fowleri* lysates and Cry1Ac induces metaplasia in the olfactory epithelium and increases IgA secretion. *Parasite Immunol* 30(1), 31-8.
- Koller, V.J. Fürhacker, M., Nersesyan, A., Misík, M, Eisenbauer, M. y S. Knasmueller (2012). *Cytotoxic and DNA-damaging properties of glyphosate and Roundup in human-derived buccal epithelial cells*. *Arch Toxicol.*, DOI 10.1007/s00204-012-0804-8.
- Lawson, L. B., E. B. Norton, *et al.* (2011). Defending the mucosa: adjuvant and carrier formulations for mucosal immunity. *Curr Opin Immunol* 23(3), 414-20.
- Lycke, N. (2010). Is the choice of vaccine adjuvant critical for long-term memory development?. *Expert Rev Vaccines* 9(12), 1357-61.
- Marc, J., Mulner-Lorillon, O., Boulben, S., Hureau, D., Durand, G. y R. Bellé. (2002). Pesticide Roundup provokes cell division dysfunction at the level of CDK1/cyclin B activation. *Chem Res Toxicol.*, 15, 326-31.
- Mesnage, R., Clair, E., Gress, S., Then, C., Székács, A. y G.E.Séralini. (2012). *Cytotoxicity on human cells of Cry1Ab and Cry1Ac Bt insecticidal toxins alone or with a glyphosate-based herbicide*. *J. Applied Toxicology.*; DOI 10.1002/jat.2712.
- Moreno-Fierros, L., E. J. Ruiz-Medina, *et al.* (2003). Intranasal Cry1Ac protoxin is an effective mucosal and systemic carrier and adjuvant

- of *Streptococcus pneumoniae* polysaccharides in mice. *Scand J Immunol* 57(1), 45-55.
- Paganelli, A., Gnazzo, V., Acosta, H., López, S.L. y A.E. Carrasco. (2010). Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling. *Chem. Res. Toxicol.*, 23 (10),1586-1595.
- Richard, S., Moslemi, S., Sipahutar, H., Benachour, N. y G.E. Seralini. (2005). Differential effects of glyphosate and Roundup on human placental cells and aromatase. *Environmental Health Perspectives.*, 113, 716-20.
- Roh, J. Y., J. Y. Choi, *et al.* (2007). *Bacillus thuringiensis* as a specific, safe, and effective tool for insect pest control. *J Microbiol Biotechnol* 17(4), 547-59.
- Rojas-Hernandez, S., M. A. Rodriguez-Monroy, *et al.* (2004). Intranasal coadministration of the Cry1Ac protoxin with amoebal lysates increases protection against *Naegleria fowleri* meningoencephalitis. *Infect Immun* 72(8), 4368-75.
- Sanahuja, G., R. Banakar, *et al.* (2011). *Bacillus thuringiensis*: a century of research, development and commercial applications. *Plant Biotechnol J* 9(3), 283-300.
- Schubert, D. (2009). *Carta dirigida al Ministro del Ambiente y los Bosques (Ministry of Environment and Forests) del Gobierno de la India el 18 de noviembre de 2009 por la introducción de la berenjena genéticamente modificada*, UCCS: <http://www.unionccs.net/article.php?story=argumentos-maiz-transgenico-mexico>.
- Seralini, G. E., D. Cellier, *et al.* (2007). New analysis of a rat feeding study with a genetically modified maize reveals signs of hepatorenal toxicity. *Arch Environ Contam Toxicol* 52(4): 596-602.
- Seralini, G. E., J. S. de Vendomois, *et al.* (2009). How subchronic and chronic health effects can be neglected for GMOs, pesticides or chemicals. *Int J Biol Sci* 5(5), 438-43.
- Vazquez, R. I., L. Moreno-Fierros, *et al.* (1999). *Bacillus thuringiensis* Cry1Ac protoxin is a potent systemic and mucosal adjuvant. *Scand J Immunol* 49(6), 578-84.
- Vazquez-Padron, R. I., L. Moreno-Fierros, *et al.* (1999). Intra-gastric and intraperitoneal administration of Cry1Ac protoxin from *Bacillus thuringiensis* induces systemic and mucosal antibody responses in mice. *Life Sci* 64(21), 1897-912.



CAPÍTULO 6

LA SIEMBRA COMERCIAL DE MAÍZ TRANSGÉNICO EN MÉXICO EN EL MARCO DE LA BIOECONOMÍA Y LA POLÍTICA PÚBLICA



Alejandro Polanco Jaime y Arturo Puente González

Preámbulo

El presente capítulo se ocupa de explorar las repercusiones de la probable decisión de política pública de autorizar la producción comercial de maíz transgénico en el marco de la bioeconomía mexicana. El estudio se concentra en los cultivares de maíz resistentes a insectos (*Bt*), y a herbicidas (*Ht*) que son los de mayor difusión a nivel internacional. Con tal fin, primeramente se revisan estudios de impacto por el uso de cultivares transgénicos en los rendimientos de maíz en condiciones de campo, en la disminución de costos, en el uso de agroquímicos y en la reducción del número o facilitación de las labores agrícolas, principalmente en EUA.

A continuación, con base en la información disponible de la SAGARPA se procede a caracterizar algunas de las tecnologías usadas en maíz por el uso de insumos y rendimientos, a fin de estimar posibles ahorros económicos con el uso de maíz transgénico. Estos resultados se contrastan con los obtenidos en Iowa, principal estado productor del cereal de los EUA. La información proviene de las estadísticas del Servicio de Extensión Agrícola de dicho estado que incluyen tanto maíz transgénico como orgánico. A este respecto se consideran los costos de oportunidad que tienen estos últimos, asumiendo mercados orgánicos y tomando también

en consideración los sobrepuestos que pueden lograrse con dicha producción en nichos específicos de mercado en Estados Unidos.

Posteriormente, partiendo de la muy alta probabilidad de diseminación de los transgenes hacia las variedades de las razas autóctonas, los ahorros derivados del uso de maíces transgénicos se confrontan contra el valor económico del germoplasma, habida cuenta de que la mayor parte aún no ha sido explorada, ni aprovechada por la industria semillera y que dicho germoplasma representa, precisamente, el futuro de la industria y la base de la cadena agroalimentaria más importante del país desde el punto de vista económico, social, alimentario y cultural. Finalmente, la decisión de comercializar semillas transgénicas de maíz se analiza desde la óptica de las políticas públicas de desarrollo rural, medio ambiente y salud pública.

Antecedentes

Desde la autorización de uso comercial del primer maíz *Bt* en 1996 en Estados Unidos, ha ocurrido una rápida difusión de maíces transgénicos en prácticamente todos los países productores del mundo (James, 2009), excepto México, aunque sus autoridades recién aprobaron la realización de siembras experimentales a las empresas multinacionales solicitantes. En los países productores del grano la difusión ha sido vertiginosa (James, 2006): en Canadá, en 2006, el porcentaje de la superficie maicera sembrada con transgénicos alcanzó 65% y en Argentina 62%, y en 2009, en los Estados Unidos, la cifra correspondiente alcanzó 85% del total (Nass, 2010). Entre 1996 y 2009, en Estados Unidos la tasa de crecimiento de uso de todos los cultivos transgénicos ascendió a 7% anual (Moss, 2009).

El uso extendido de maíces transgénicos en las principales zonas productoras de Estados Unidos obedece al imperativo de crecimiento de la superficie de las unidades de producción para compensar fluctuaciones de precio y de menores ingresos por ha. En ese país, por ejemplo, el uso de *Ht* junto con herbicidas libera tiempo dedicado a labores mecanizadas, reduce costos y permite subcontratar a empresas para las aplicaciones de agroquímicos (Altieri y Rosset, 1999). Se trata pues de una innovación que facilita la expansión del modelo intensivo en capital o de producción agrícola industrial en grandes superficies.

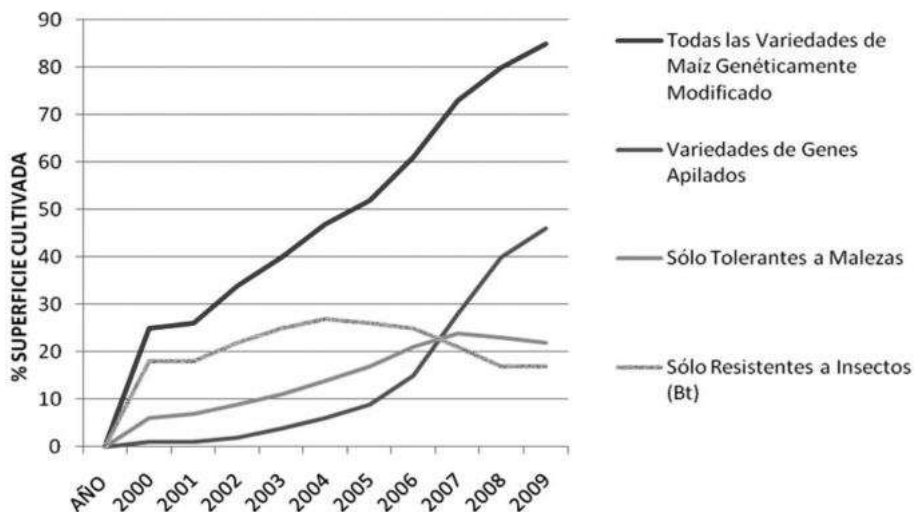
Se ha propuesto que la adopción de semillas transgénicas a nivel del agricultor individual resulta de un proceso de toma de decisiones

que comprende la ponderación de los costos y beneficios económicos así como el riesgo que implica el uso de la nueva tecnología. Incluye, asimismo el aprendizaje para asimilarla (Marra *et al.*, 2003). También se afirma que el proceso se ve influido por la actitud del productor respecto al riesgo (Marra *et al.*, 2003). Los agricultores estadounidenses que adoptaron maíces *Bt* mencionan que lo hicieron por su expectativa de reducir los costos de los insecticidas, ahorrarse labores de aplicación y reducir las pérdidas por el ataque de plagas. Otros estudios encontraron, además, una mayor tendencia a la adopción de semillas *Bt* en las fincas grandes y en los casos de escasez de mano de obra (Payne *et al.*, 2003). Lo que en conjunto parece ir de acuerdo con la explicación anterior sobre las causas de la difusión de semillas transgénicas en países industrializados.

En Estados Unidos, hasta 2009 se habían sometido a pruebas alrededor de 11,275 tipos de maíz transgénicos de los cuales 26.8% corresponden a cultivares, *Bt* y *Ht* y el resto a tipos de maíz orientados a incrementar los rendimientos potenciales (Gurian-Sherman, 2009). Estos últimos —que no han alcanzado la fase de comercialización— incluyen transgenes que pudieran elevar la capacidad fotosintética, la canalización de la energía hacia la formación de grano o de forraje, un mejor aprovechamiento del nitrógeno y la tolerancia a la sequía o a los suelos ácidos, entre otros. La industria de alimentos y de agrocombustibles, así como amplios segmentos de los productores de los Estados Unidos, apuestan al desarrollo de dichas variedades transgénicas con mayor eficiencia fotosintética de la planta y un mejor aprovechamiento de los fertilizantes, con lo que esperan elevar el rendimiento promedio nacional de 9.4 ton/ha a 12.6 ton/ha, para el año 2020, e incluso a 18.8 ton/ha en 2030 (Heisey, 2009).

Los transgénicos actualmente en uso están dirigidos a mejorar las cosechas en condiciones de campo: maíces *Bt*, *Ht* y cinco cultivares transgénicos resistentes a diferentes enfermedades (Gurian-Sherman, 2009). Algunas variedades portan un solo transgén, pero otras llevan tres o más, lo que da lugar a líneas con “genes apilados” o semillas transgénicas de múltiples atributos. De hecho, las semillas de genes apilados son las que muestran un mayor crecimiento en el mercado semillero de Estados Unidos, de modo que, en 2009, de la superficie total sembrada con semillas transgénicas 46% correspondió a dicho tipo, mientras que la cifra para maíces *Ht* fue de 23% y para los *Bt* de 17% (NASS, 2010) (Gráfica 1).

Gráfica 1. Difusión de maíces transgénicos en EEUU
(2000-2009)



Para analizar la posible aportación de los maíces transgénicos a la agricultura mexicana vale subrayar que se trata de cultivares generalmente híbridos con un potencial productivo determinado, a los cuales se les ha introducido material genético de otra especie, con atributos específicos, denominado transgén. Con el mismo propósito, también conviene tener presente dos términos: el de *rendimiento potencial* y el de *rendimiento en campo*. El primero se refiere al rendimiento posible que se puede atribuir a la constitución genética de una determinada variedad considerando condiciones óptimas de cultivo, mientras que el segundo es el que se obtiene como resultado de la interacción de factores bióticos y abióticos con el manejo que el productor haga del cultivo. El primero incluye las plagas y enfermedades y el segundo el tipo y la condición de los suelos, la topografía, la radiación solar, la disponibilidad de agua, la cantidad de lluvia y su distribución anual, así como la incidencia de heladas y granizadas. El manejo del productor comprende un amplio número de decisiones relativas a la fecha y densidad de siembra, arreglos topológicos (Reta, 2003), labores y fertilización de suelos, control de plagas, enfermedades y malezas, posible alternancia o asociación de cultivos, frecuencia de riego y, desde luego, el tipo de semillas. En otras palabras,

los rendimientos potenciales son los que observan los investigadores en parcelas experimentales o invernaderos, en condiciones ideales; los rendimientos en campo son los que obtienen los agricultores en el ciclo agrícola con una variedad de un potencial genético determinado.

Dado que los cultivares transgénicos, en rápido proceso de difusión internacional, buscan incidir en la rentabilidad del cultivo —reduciendo las pérdidas ocasionadas por las plagas y facilitando el control de malezas—, su evaluación económica tiene que incluir su costo de oportunidad frente a otras alternativas de manejo de plagas y malezas, su impacto en el germoplasma del maíz mexicano conformado por 59 razas con miles de variedades y la posibilidad de generar y expandir nichos de mercado de maíz orgánico y sus productos y derivados. Por otro lado, la evaluación de la probable adopción de maíces *Bt* y *Ht* tendría que tomar en cuenta las *externalidades* de dichas biotecnologías, es decir los costos en términos de evolución de la resistencia de las malezas a los herbicidas a las que son tolerantes los maíces *Ht* (International Survey of Herbicide Resistance Weeds, 2009) y de las plagas a las toxinas de los maíces *Bt*, (Bravo y Soberón, 2005) así como posibles pérdidas de biodiversidad y riesgos a la salud, en particular en el caso de maíces modificados como “cultivos funcionales” o “biofábricas” desarrollados para producir fármacos. Este es un aspecto nodal, ya que se empiezan a acumular evidencias sobre procesos inflamatorios, en animales de laboratorio, desencadenados por las proteínas *Cry* de los maíces *Bt* (Schubert 2002), por citar un ejemplo.

A la fecha se han realizado numerosos estudios sobre el impacto de los maíces transgénicos en varios países industrializados y en vías de desarrollo que consideran el desempeño de la finca, así como los beneficios para el consumidor y las industrias que utilizan el grano como insumo o para las mismas compañías semilleras (Smale *et al.*, 2006). Otros estudios latinoamericanos evalúan el impacto de dichas biotecnologías contrastando los beneficios privados contra su rentabilidad social (Bota, 2003).

El desempeño económico de transgénicos en otros países

Lo antes dicho sirve para ver de manera crítica los estudios publicados relativos al impacto de los maíces transgénicos. Algunos investigadores reportan que estos cultivares resistentes a plagas específicas y a herbicidas

reducen costos al agricultor y benefician el medio ambiente, sea por un menor empleo de agroquímicos o por la retención de gases en el suelo bajo labranza mínima (Watanabe *et al.*, 2005). Un estudio panorámico, que incluye información de doce años y fue realizado con información de varios países, atribuye al uso de maíces transgénicos beneficios económicos y ambientales muy significativos (Brookes y Barfoot, 2006).

En cambio, los primeros informes realizados por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en 2001 con información del período 1996-1998, consignan resultados poco uniformes: sobre todo en el caso de las semillas *Bt* mostraron importantes diferencias regionales en el ahorro de pesticidas (Harwood *et al.*, 2001). Igualmente, una evaluación realizada por universidades estadounidenses sobre el impacto resultante del uso de maíces *Bt* en varias localidades del cinturón maicero de Estados Unidos arrojó rendimientos y ganancias económicas variables —de modestos a significativos, dependiendo de los años y las localidades (Marra *et al.*, 2002).

No obstante, resulta crucial para las evaluaciones de impacto a lo largo del tiempo distinguir entre los beneficios atribuibles al transgén por sí mismo y los incrementos del rendimiento potencial resultante del proceso de mejoramiento genético tradicional, así como las mejoras en el manejo del cultivo que incluyen la densidad de siembra, las labores culturales y el control de plagas, así como los procesos de aprendizaje del agricultor. A lo anterior debe añadirse las variaciones climáticas, la periodicidad de las plagas y los cambiantes niveles de infestación por diversas plagas. Por tanto, en general, el desempeño de los cultivos a lo largo de los años tiene que ver forzosamente con la compleja interacción del genotipo de la planta, el medio ambiente y el manejo del cultivo por el productor. En el caso específico de los maíces genéticamente modificados, el desempeño tiene que ver, además, con la interacción del transgén o transgenes entre sí y de éstos con el genoma específico del cultivar, aspectos que reciben creciente atención por parte de los investigadores (Schubert, 2002).

Precisamente, uno de los puntos más débiles de los esfuerzos por estimar el impacto de las biotecnologías al compilar resultados en el nivel local y regional, es el metodológico: la mayor parte de las veces se comparan cultivares transgénicos *vs.* convencionales, pero de distintas características y fondo genético, es decir se comparan variedades o híbridos no isogénicos; tampoco se consideran o controlan en los análisis estadísticos las diferencias de manejo entre los productores o el tipo y calidad del suelo. Por ello, no debe sorprender que las supuestas

ventajas se desvanezcan cuando se toman en cuenta las anteriores variables, pero también porque las mutaciones de malezas e insectos que les confieren resistencias llevan algunos años para manifestarse y ocasionar rendimientos decrecientes (Onstad y Gould, 1998). Apenas se empieza a entender los procesos de evolución de tales resistencias. Por ejemplo, en los maíces *Bt* influye la dinámica de la población de insectos, la distribución de estos cultivares, el grado de difusión entre los agricultores, y la intensidad de uso de los cultivos *Bt* (Storer *et al.*, 2003).

Un trabajo reciente que recopila y analiza de manera crítica los estudios de impacto publicados en revistas científicas hasta 2009 concluye que los cultivares resistentes a herbicidas no superan los rendimientos en campo obtenidos con las técnicas tradicionales, ni cumplen la promesa de un menor uso de agroquímicos (Gurian-Sherman, 2009). La amplia difusión de maíces tolerantes a los herbicidas se atribuye, como ya se dijo, a que permiten expandir el área cultivada por productor y a que implican menos uso de maquinaria y por tanto ahorro de combustibles.

En Estados Unidos la amplia difusión de los maíces *Ht*, lejos de reducir el uso de agroquímicos, ha significado un aumento sustantivo en el uso de herbicidas en comparación con la producción basada en métodos tradicionales de control de malezas (Benbrook, 2009). En principio, esta tendencia a un mayor uso de herbicidas parece desconcertante, pero se explica en función de la aparición de malezas resistentes a los herbicidas, lo que ocasiona aplicaciones más frecuentes y mayores dosis, así como la inclusión de otros ingredientes activos. El aumento relativo del consumo de herbicidas en los cultivos *Ht* también se explica por el hecho de que los usuarios de maíces convencionales han recurrido a nuevos y más eficaces pesticidas que se aplican en menores volúmenes. Asimismo, debe recordarse que muchos agricultores que adoptaron tempranamente el uso de maíces *Ht* no dejaron de utilizar otros herbicidas. La problemática de las malezas resistentes en otros cultivos transgénicos es tan prevalente que, por ejemplo, los algodóneros de Estados Unidos han recurrido a la labranza mecánica tradicional y algunos incluso al deshierbe manual. Probablemente otros cultivos *Ht* de soya y maíz enfrenten a futuro una situación semejante. Ante la aparición de resistencias en las malezas, los grandes consorcios de insumos agrícolas ofrecen a sus clientes apoyos económicos para sufragar la adquisición de herbicidas de otras empresas (Sheridan 2010). El grueso de los productores estadounidenses ha dependido por tres lustros, de manera casi exclusiva, del uso de maíces *Ht* y de glifosato y glufosinato, con las consecuencias descritas, y han

dejado de lado otras alternativas de manejo (Benbrook, 2009). De hecho la rápida aparición de resistencias a los herbicidas mencionados impone cambios en los patrones de cultivo y el desarrollo de nuevas prácticas de manejo (Sheridan, 2010).

Por su parte, la aportación de los cultivares *Bt* a los rendimientos en campo depende del tipo de insectos y de condiciones específicas. Cuando la infestación por lepidópteros es alta, la ventaja sobre las técnicas tradicionales es de 7 a 12%, pero cuando la carga parasitaria es baja, la ventaja disminuye o desaparece. Los resultados con maíces *Bt* dirigidos a controlar la infestación con plagas de la raíz (diabrotica) mejoran entre 1.5 y 4.5% los rendimientos en campo en comparación con las medidas tradicionales y la aplicación de insecticidas (Gurian-Sherman, 2009). Investigaciones apoyadas por asociaciones de producción orgánica de los EUA afirman que entre 1998 y 2010, a pesar del uso generalizados de variedades Ht y Bt, el volumen de herbicidas se incrementó sustancialmente y que el uso de insecticidas no se redujo significativamente como se habría esperado. Una de las dificultades para resolver en definitiva la controversia suscitada, entre dichos grupos y los intereses empresariales, radica en fallas de diseño de los Servicios de Estadísticas Agrícolas (NASS por sus siglas en Inglés) que no diferencian en sus encuestas campo relativas al uso de agroquímicos entre variedades transgénicas y convencionales y que además se realizan de manera discontinua (Sheridan, 2010).

La evolución de la resistencias a las toxinas *Cry* del maíz *Bt* en poblaciones de insectos ha sido un escollo que las empresas semilleras han tratado de evitar con diferentes enfoques. Una primera medida ha sido la de sembrar franjas o de circundar el cultivo transgénico con cultivares convencionales susceptibles a la plaga. La idea central es limitar la reproducción de poblaciones de insectos resistentes al promover su apareamiento con insectos susceptibles que progresan en las franjas. Estas superficies, denominadas “refugios”, como es de esperarse reciben un mayor daño que el cultivo transgénico, lo que representa un costo para el productor que adopta dichos maíces y también para los agricultores vecinos que no los usan por la invasión de dichas plagas adaptadas a las toxinas.

La alternativa de establecer refugios, aprovechando los estímulos económicos provistos por las compañías semilleras, no ha sido efectiva. Por ello, se ha recurrido, simultáneamente, a otras medidas como el desarrollar cultivares con varios transgenes que expresan más de un

tipo de toxina y mantienen altos niveles de éstas en el tallo y el follaje del maíz. Sin embargo, los niveles de las toxinas no han resultado del todo uniformes en los tejidos de la planta, lo que ocasiona que las plagas se alimenten de aquellas partes con menores concentraciones de toxina o bien aprovechen la declinación de títulos de las toxinas que se presenta hacia el final del período de maduración del maíz (Altieri y Rosset, 1999). Además, los insectos también se sobreponen a esta situación pues disponen de mecanismos fisiológicos —comprendidos en el fenómeno de la diapausa— para adaptarse y sincronizarse con factores de estrés a fin de reproducirse y desarrollarse (Derlinger *et al.*, 2004). Esto es: pueden sobrevivir en un ciclo dado para emerger en el siguiente.

La siembra de maíces *Bt* ha motivado una serie de investigaciones que, aunque no concluyentes, previenen sobre la aparición de problemas de segunda generación. Es decir, el desarrollo de las biotecnologías *Bt* que originalmente pudieron abocarse a resolver un problema específico puede generar nuevos desafíos. Estos problemas se relacionan con la acumulación de toxinas en el suelo y su posible efecto sobre microorganismos y fauna benéfica (Altieri y Rosset, 1999). Otra inquietud ha sido el impacto en las poblaciones de depredadores naturales de las plagas del maíz, la posibilidad de “rebote” de éstas y aún la presentación de nuevas plagas secundarias. Una inquietud de fondo es el hecho de que, una vez liberados los transgenes, sus posibles efectos deletéreos permanezcan en los ecosistemas, situación que se agrava tratándose, como es el caso de México, de un centro de origen.

Además de las limitantes de esta biotecnología hasta aquí descritas, según una evaluación de maíz *Bt* en el cinturón maicero de Estados Unidos, en el período 1996-2001, señala que los agricultores registraron pérdidas de alrededor de 3.38 dólares por ha. Entre las razones que ofrece el estudio se destaca la inconsistencia en la mejora de los rendimientos y de los ahorros en insecticidas, y con frecuencia el elevado precio de las semillas transgénicas (Benbrook, 2001). En dicho país, el acceso a las semillas transgénicas implica un pago por el bulto de semillas en sí y una cuota tecnológica adicional, que puede cobrarse aparte o incluirse en una cuenta total, lo que dificulta a los agricultores identificar el monto de dicho pago extra. Las cuotas existen debido a que las grandes empresas dueñas de las tecnologías *Bt* y *Ht* establecen arreglos de transferencia tecnológica con compañías locales —que les autoriza a incorporar los transgenes en sus híbridos— encargándose éstas de recuperar dicho pago adicional. El

desembolso para adquirir semillas *Bt* suele ser 35% más alto al que se paga por cultivares élite convencionales, aunque existen grandes variaciones en el precio (Benbrook, 2001), los cuales dependen, entre otros factores, del ajuste que existe entre la proyección de la demanda de semilla que haya hecho la empresa —con un ciclo agrícola de antelación— y la fluctuación del área a ser sembrada efectivamente (Benbrook, 2001). Desde luego, el número y el tipo de atributos o transgenes presentes en un determinado cultivar influyen en el precio. Por ejemplo, por una bolsa de semillas *Ht* o por un atributo *Bt* se paga entre 22 y 26 dólares por arriba del precio convencional, pero en el caso de la resistencia a diabrotica el sobreprecio es de 48 a 54 dólares (Hillyer, 2005).

Sin duda, la inusitada alta tasa de difusión de los cultivares transgénicos de maíz en menos de tres lustros marca un hito en la historia de la innovación agrícola: se efectuó en la mitad del tiempo que requirieron las variedades híbridas para ocupar las tierras maiceras de Estados Unidos (Polanco y Flores, 2008). Paradójicamente, también ha representado el mayor aumento en costos por ha que hayan pagado los agricultores por un par de atributos cuyos impactos en la rentabilidad del cultivo son poco consistentes (Benbrook, 2001).

Resumiendo, a nivel de la parcela del agricultor, el impacto económico de los maíces transgénicos depende de su aportación concreta a la reducción de costos y de pérdidas en campo, pero también depende, de manera crítica, de la estructura de costos y rentabilidad del productor, así como de la demanda y precios del grano o follaje producidos y, en particular, de los precios de las semillas. Por su parte, los resultados agronómicos derivados del uso de semillas transgénicas están en función del nivel de infestación de plagas y malezas, del área afectada, de la dinámica poblacional de plagas y malezas, de la resistencia de la planta, de la presencia de depredadores naturales y de factores climáticos (Benbrook, 2001).

La autorización gubernamental de semillas transgénicas en México desde varias perspectivas

Una valoración equilibrada del uso comercial en México de semillas transgénicas de maíz es por necesidad multidimensional, pues tiene que hacerse tanto desde la óptica de la economía agrícola como de la bioeconomía —que se fundamenta en el aprovechamiento sustentable

de los recursos genéticos del país— y, por supuesto, también desde el punto de vista de la política pública.

La perspectiva del productor y de la económica agrícola

Para poner en perspectiva económica la adopción de semillas transgénicas en México es importante tener presente la actual estructura de costos de los insumos y los rendimientos de cultivo del maíz.

Para ello, a partir de la información ofrecida en Internet por el Sistema de Información Agrícola y Pecuaria, SIAP, se procedió a integrar una base de datos de costos de producción por modalidad tecnológica y por entidad federativa. Se tomó toda la información disponible en las encuestas para el año agrícola de 2007 (último año con información disponible), la cual incluye un total de 33 tecnologías utilizadas en 9 estados de la república.

Desafortunadamente se constató que la información de dichas encuestas muestra importantes inconsistencias y errores que afectan las estimaciones referentes al uso de insumos, precios, costos y rendimientos.

Por esta razón se efectuó una depuración recurriendo a la comparación de los valores extremos con coeficientes técnicos y valores establecidos en otro estudio (Puente, 2007). Al final de este proceso se decidió trabajar sólo con siete modalidades tecnológicas de un igual número de entidades federativas.

Las tecnologías, tanto para riego como para temporal, se resumen en el Cuadro 1.

En dicho cuadro se puede apreciar que el costo parcial de los herbicidas representa entre 1% y 3% del costo total de producción. No obstante hay que apuntar que mientras Sinaloa, principal estado productor del país, no presenta costos de herbicidas, la modalidad tecnológica del estado de Guerrero (tecnología dependiente del temporal con semillas nativas y sin uso de fertilizante) reporta costos de herbicidas que ascienden a 4.6% del costo total de producción.

El costo parcial de insecticidas con respecto del costo total de producción se podría ubicar en un rango de 5 a 6%, con una mayor incidencia en el costo total de producción de Guerrero (8.7%) y menor para el caso de Sinaloa (1.4%).

Cuadro 1. México. Costo de Producción y Rendimiento del Maíz

Tecnología	Veracruz		Guerrero		Tlaxcala		Oaxaca		Tamaulipas		Chihuahua		Sinaloa	
	TCF	p-V 2007	TCS	p-V 2007	TMF	p-V 2007	TMF	p-V 2007	GMF	O-I 2006-07	GMF	p-V 2007	GMF	O-I 2006-07
Agroquímicos		30.3%		13.3%		22.9%		21.3%		16.0%		53.1%		29.2%
- Fertilizantes		26.3%		0.0%		20.3%		13.1%		10.7%		45.6%		27.8%
- Herbicidas		3.0%		4.6%		2.6%		2.6%		0.0%		1.1%		0.0%
- Insecticidas		1.0%		8.7%		0.0%		5.6%		5.3%		6.1%		1.4%
Semilla		0.0%		0.0%		15.4%		5.4%		11.2%		7.8%		25.2%
Rendimiento (ton/ha)		2.10		2.50		2.75		3.00		5.00		8.08		9.15
Costo Total de Producción */														
- Por Hectárea (pesos)		\$3,972		\$4,598		\$4,712		\$5,079		\$6,436		\$9,338		\$8,850
- Por tonelada (pesos)		\$1,891		\$1,839		\$1,713		\$1,693		\$1,287		\$1,156		\$967

TCF: Temporal, criollo, fertilizado

TCS: Temporal, criollo, no fertilizado

TMF: Temporal, mejorado, fertilizado

TMF: Temporal, mejorado, fertilizado

GMF: gravedad, mejorado, fertilizado

GMF: gravedad, mejorado, fertilizado

GMF: gravedad, mejorado, fertilizado

*/ No incluye a los costos de: Renta de la tierra, crédito, seguro y otro.

Fuente: Elaboración propia con base a los costos de producción publicados por el SIAP/SAGARPA.

En el estudio mencionado —que sirvió de referencia (Puente, 2007) para seleccionar las modalidades tecnológicas— el costo parcial de los fertilizantes con respecto del costo total de producción varió entre 20 y 30% dependiendo de las tecnologías de riego y temporal. El costo parcial de los fertilizantes de las tecnologías en Sinaloa, Veracruz y Tlaxcala se corresponde con el rango mencionado, aunque la tecnología preponderante en Chihuahua el costo de fertilizantes tuvo una mayor proporción en el costo total de producción.

En las tecnologías analizadas, el costo de las semillas con respecto del costo total de producción puede ubicarse en un rango de 10 a 15% (Puente, 2007). Mientras que en Oaxaca las semillas representan 5.4% del costo total de producción, en Sinaloa ascienden a 25.4%.

Es altamente probable que los productores de Oaxaca, encuestados por el SIAP, usen principalmente semillas de variedades mejoradas de menor costo y potencial productivo, y en Sinaloa, dados los elevados rendimientos reportados, los agricultores utilicen híbridos con mayor potencial genético y costo. Vale destacar que a mayores rendimientos mayores costos totales de producción, pero menores costos de producción por tonelada.

Para contrastar las tecnologías empleadas en México con las de Estados Unidos se analiza el caso del estado de Iowa, principal productor de maíz en ese país, a partir de las estadísticas del Servicio Nacional de Estadísticas Agrícolas del USDA. En el año agrícola 2007, 22% de la superficie sembrada en Iowa utilizó variedades de maíz *Bt* y 19% las tolerantes a herbicidas. Se sembró 53% de la superficie con variedades de genes apilados, es decir, que incorporan simultáneamente resistencia a insectos y herbicidas (ver Cuadro 2 y Gráfica 2).

El caso de Iowa, se analizan siete tecnologías de producción de maíz que dependen de la humedad de los deshielos y por lo tanto no requieren riego. De éstas, cuatro tecnologías de producción consisten en la siembra después de la soya y tres tecnologías basadas en el monocultivo del maíz (tecnología maíz-maíz) (www.extension.iastate.edu/agdm).

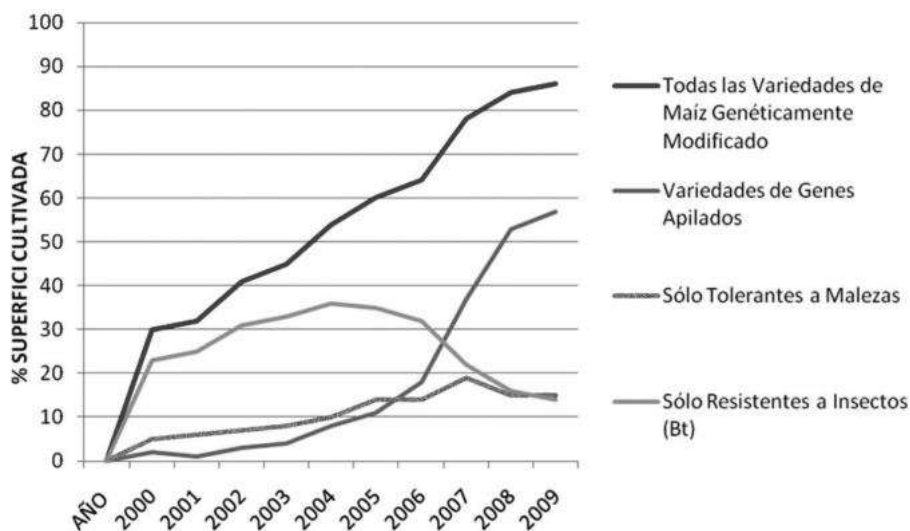
En primer lugar, destaca el hecho de que a pesar de usar materiales transgénicos resistentes a insectos y tolerantes a herbicidas, los productores de Iowa continúan utilizando insecticidas y compuestos químicos para el control de malezas. Las estructura de los costos parciales de agroquímicos y semillas presentan rangos más estrechos de variación comparados con los rangos para las distintas tecnologías descritas de

Cuadro 2. Variedades de Maíz Genéticamente Modificadas en Los Estados Unidos y Iowa, 2000-2009
(porcentaje de la superficie sembrada)

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Solo Resistentes a Insectos (Bt)										
Iowa	23	25	31	33	36	35	32	22	16	14
EUA	18	18		25	27	26	25	21	17	17
Solo Tolerantes a Malezas										
Iowa	5	6	7	8	10	14	14	19	15	15
EUA	6	7	9	11	14	17	21	24	23	22
Variedades de Genes Apilados										
Iowa	2	1	3	4	8	11	18	37	53	57
US	1	1	2	4	6	9	15	28	40	46
Todas las Variedades de Maíz Genéticamente Modificado										
Iowa	30	32	41	45	54	60	64	78	84	86
US	25	26	34	40	47	52	61	73	80	85

Fuente: U.S. Dept of Agriculture, National Agricultural Statistics Service (NASS).

Gráfica 2. Difusión de maíces transgénicos en Iowa (2000-2009)



Fuente: Elaborado con base en: U.S. Dept of Agriculture, National Agricultural Statistical Service (NASS).

México. Con respecto al costo total de producción, el costo parcial de los herbicidas es mayor en la rotación maíz-maíz, con valores de 6.9% a 7.5%, mientras que en la rotación soya-maíz el rango es de 8.2% a 11.6%. Comparado con México, el uso de herbicidas en Iowa tiene un mayor peso en el costo total de producción de maíz (ver Cuadro 3).

En las tecnologías maíz-maíz el costo parcial de los insecticidas en el costo total varía de 4.9% a 5.3%, asemejándose a los costos de las tecnologías descritas para México. Sin embargo, en las tecnologías soya-maíz no se reporta o no se recurre al uso de insecticidas.

La participación del rubro de fertilizantes en el costo total de producción varía de 27.1% a 28.7%, rango similar al encontrado en los estados mexicanos abocados a la agricultura comercial que hacen un uso intensivo de insumos como Sinaloa (Puente, 2007). Las tecnologías con mayores rendimientos, de 7.85 ton/ha a 10.36 ton/ha, están asociadas a menores costos totales de producción unitarios aunque mayores en el costo total de producción. Estos rendimientos son similares a los

Cuadro 3. Iowa, EUA. Costo de Producción y Rendimiento del Maíz

Tecnología	S-M-LM-ME ^{af}	S-M-LC-AL ^{bv}	S-M-LC-ME ^{cf}	S-M-LC-BA ^{dv}	M-M-LC-AL ^{ef}	M-M-LC-ME ^{fv}	M-M-LC-BA ^{gf}
Ciclo	Año 2007	Año 2007	Año 2007	Año 2007	Año 2007	Año 2007	Año 2007
Agroquímicos	39.2%	37.0%	36.2%	36.1%	40.4%	40.7%	41.6%
- Fertilizantes	27.6%	27.1%	28.1%	27.6%	28.6%	28.6%	28.7%
- Herbicidas	11.5%	9.9%	8.2%	8.5%	6.9%	7.1%	7.5%
- Insecticidas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.9%	6.0%	5.3%
Semilla	11.7%	14.5%	13.7%	11.8%	13.5%	11.9%	10.5%
Rendimiento (ton/ha)	10.04	11.30	10.04	8.79	10.36	9.10	7.85
Costo Total de Producción */							
- Por Hectárea (dólares)	\$739	\$798	\$727	\$701	\$859	\$836	\$789
- Por tonelada (dólares)	\$74	\$71	\$72	\$80	\$83	\$92	\$101

- a. Maíz después de Soya. Labranza de Conservación. Productividad Media.
b. Maíz después de Soya. Labranza Convencional. Productividad Alta.
c. Maíz después de Soya. Labranza Convencional. Productividad Media.
d. Maíz después de Soya. Labranza Convencional. Productividad Baja.
e. Maíz después de Maíz. Labranza Convencional. Productividad Alta.
f. Maíz después de Maíz. Labranza Convencional. Productividad Media.
g. Maíz después de Maíz. Labranza Convencional. Productividad Baja.

*/ Incluye a los costos de: Crédito, seguro y otros. No incluye a la renta de la tierra.
Fuente: Elaborado con datos del Servicio de Extensión de la Universidad de Iowa, EUA.

respectivos de Sinaloa y Chihuahua, sin embargo, en estas entidades el maíz se cultiva bajo riego (Cuadro 3).

Es muy importante subrayar que en Iowa se están desarrollando otras alternativas al uso de cultivares transgénicos, como la producción de maíz orgánico, es decir que no emplea fertilizantes químicos ni pesticidas, la cual representa una opción muy atractiva para nichos específicos de mercado conformados por consumidores que cuestionan la inocuidad y el impacto ambiental de materiales transgénicos. En Iowa, la producción orgánica de maíz tiene un costo total de producción menor en 24% que la producción convencional o la que utiliza semillas transgénicas. Aunque la producción orgánica implica una reducción en rendimiento de 9.3%, éste se ve ampliamente compensado por el precio que es 2.4 veces superior al de los maíces transgénicos o convencionales. El acceso al segmento del mercado de maíz orgánico y su desarrollo representa extraordinarias ganancias netas para los agricultores (www.extension.iastate.edu/agdm).

Hasta el momento, el uso de semillas transgénicas en Estados Unidos tiene que ver principalmente con cuestiones de practicidad y flexibilidad en el control de plagas y malezas. En muchos casos, el uso de transgénicos representa un aumento en el precio de 30% en el rubro de semillas, y se hace con frecuencia a costa de las ganancias del productor (Benbrook, 2001). Actualmente muchos productores no tienen la opción de volver al uso de semillas convencionales ya que éstas han desaparecido de los inventarios, desplazadas de los programas de reproducción de las compañías semilleras por las líneas transgénicas (Benbrook, 2009).

Resulta importante subrayar la vulnerabilidad en aumento de los maiceros relacionada a la creciente importancia de los insumos en la estructura de costos (Puente, 2010). Un estudio comparativo de la producción de Jalisco con la de Iowa —ambas realizadas en áreas de temporal/humedad— arrojó que el principal costo de producción fue el fertilizante. En 2009 en Jalisco representó 43.4% y en Iowa 40.1% del costo total de producción. Las erogaciones por concepto de maquinaria y equipo fue el segundo en importancia en ambas localidades. Dicho estudio mostró además que en Jalisco se aplican mayores dosis de fertilización aunque se obtienen menores rendimientos que en Iowa. Asimismo el referido estudio indica que la densidad de siembra tiende a ser mayor en Jalisco y el uso de mano de obra aun mayor. En Jalisco, el margen de la ganancia neta fue de 7.1% en 2005 (año de bajos precios

del maíz y bajos precios de insumos), de 29.8% en 2007 (año de altos precios de maíz y bajos precios de insumos) y de 14.0% en 2009 (año de altos precios del maíz y altos precios de insumos). Este margen de ganancia fue superior para los productores de Iowa, 16.9% en 2005, 50.9% en 2007 y 18.3% en 2009.

No obstante el uso difundido de semilla transgénica Ht de maíz en Iowa, el uso de herbicidas ha mantenido una proporción importante del costo total de producción, 11.7% en 2005, 8.2% en 2007 y 9.0% en 2009. Debe notarse que debido a las condiciones agroclimáticas en Iowa, que aprovecha la humedad de deshielos, prácticamente no se requiere del uso de insecticidas.

La exploración de la experiencia estadounidense en materia de costos y rendimientos resultantes del uso de semillas transgénicas, no permite prever beneficios claros para los productores mexicanos en el caso de que autorice su uso comercial. Además, otros factores convergen para configurar una situación de riesgo y alta incertidumbre como: la ausencia en casi 30 años de políticas de fomento económico y tecnológico para el maíz, la alta dependencia de México de Estados Unidos en el abasto de maíz amarillo, y la incertidumbre sobre los precios internacionales de los granos mismos, que dependen de la demanda de maíz para producción de combustibles y de las imprevisibles consecuencias del cambio climático. A pesar de los apoyos que reciben, los maiceros empresariales y comerciales de México operan en un ambiente de incertidumbre respecto de los precios que pagan por insumos y los que reciben por su grano. Por ejemplo, este sector recién tuvo que asimilar una merma de 30% por la elevación del costo de los fertilizantes nitrogenados del (FIRA, 2009; http://www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_art=406&id_sec=25). Es difícil que los productores nacionales pudieran absorber crecientes costos por el uso de semillas transgénicas, cuyos precios serían determinados en un mercado duopólico.

La propaganda que utilizan las empresas multinacionales en México se centra en la posible contribución a la productividad maicera y la consecuente disminución de las importaciones del grano. No obstante, un estudio del año 2012, en el estado de Jalisco, sobre los logros de un esquema de asistencia técnica intensiva —que parte de las condiciones productivas y objetivos del agricultor— muestra que con dicho esquema es posible lograr en condiciones de temporal rendimientos similares a lo que se obtienen en los EUA o en el estado de Sinaloa en tierras irrigadas (Polanco y Puente, 2012). Para el caso del municipio

de Ocotlán, Jalisco el análisis de una muestra de 91 productores, que trabajan predios de 11 hectáreas en promedio, arrojó rendimientos de 9.5 toneladas por hectárea y una rentabilidad del capital (ganancia neta/costo total de producción) de 132.7% nominal. El coeficiente de variación fue de 67.0% en tamaño de la unidad de producción, 16.2% en rendimiento y 31.0% en rentabilidad (Cuadro 4). Por tanto, queda claro que el uso de transgénicos es tan sólo una posible tecnología entre muchas otras: la inversión en servicios de extensión de alta calidad como la que prestan las empresas Atider y Cycasa en Jalisco representa una mejor opción con alto grado de sustentabilidad y con altos dividendos públicos y privados.

Para delimitar la contribución de semillas transgénicas a la economía agrícola de México es necesario tener presentes las siguientes cuestiones:

- La posible aportación de los maíces transgénicos a la productividad total del cultivo dependerá del porcentaje de la superficie maicera cultivada con ellos. En México, históricamente el uso de semillas industrializadas ha sido limitado y difícilmente sobrepasa 23% del área cultivada de maíz, y de esta superficie la mitad corresponden a híbridos (López y Morris, 1994). Desde el punto de vista económico, no se puede esperar que las empresas privadas formen y comercialicen híbridos para nichos de producción pequeños. Tampoco es previsible que amplios segmentos de productores comerciales de temporal —no se diga los indígenas y campesinos— abandonen sus variedades de polinización libre y opten siquiera por híbridos convencionales y menos aún por líneas transgénicas. Por tanto, las semillas transgénicas tienen un mercado muy restringido en México, básicamente en Sinaloa, Chihuahua, Tamaulipas y parte del Bajío.
- El cálculo de la contribución de los maíces transgénicos a la disponibilidad nacional de grano dependerá del porcentaje de la superficie total cultivada que se siembre con dichas semillas y su aporte efectivo a los rendimientos unitarios en campo, en relación al total de la producción en un ciclo agrícola dado. Posiblemente se presente un patrón similar al de Estados Unidos: mayores rendimientos en el campo en los primeros años, para declinar posteriormente por la aparición de la resistencia de plagas y malezas.

Cuadro 4. Resultados económicos de un esquema de asistencia técnica intensiva en Jalisco por la empresa ATIDER

	Hectáreas Número	Rendimiento Ton/Ha	Ingreso Bruto Pesos/Ha	Costo Total Producción Pesos/Ha	Ganancia Neta Pesos/Ha	Rentabilidad del Capital %
Promedio	10.77	9.46	\$28,093	\$12,135	\$15,958	132.73%
Mínimo	1.00	6.65	\$19,632	\$9,686	\$6,162	40.30%
Máximo	20.00	13.90	\$41,700	\$15,303	\$27,905	212.09%
Desviación Estándar	7.21	1.54	\$4,749	\$1,065	\$4,737	41.11%
Coefficiente de Variación	66.95%	16.23%	16.90%	8.77%	29.68%	30.98%
Moda	20.00	10.00	\$33,282	\$11,566	\$21,715	187.75%
Mediana	9.76	9.60	\$28,500	\$11,916	\$16,331	124.51%
Número de Productores	91	91	91	91	91	91

Polanco Jaime A. y Puente González A. (2012)

- Los principales determinantes de adopción de semillas transgénicas son tanto el precio como la percepción sobre el monto de las pérdidas económicas ocasionadas por malezas y plagas. Otro factor clave en la adopción de semillas transgénicas es la rentabilidad del cultivo. Por ello, en el caso específico de los maíces *Bt* la definición de *umbrales económicos* es definitoria, los cuales se refieren al monto de la pérdida económica ocasionada por un determinado nivel de infestación de una plaga específica, a partir del cual se justifica una erogación adicional en pesticidas. No obstante, el SIAP (Sistema de Información Agrícola y Pecuaria) y el SENASICA carecen de un sistema confiable de costos y de información sobre el grado de infestación por plagas que permita estimar de manera confiable dichos umbrales y con ello orientar las decisiones del productor. La escasa información existente sobre los umbrales económicos para *Spodoptera frugiperda* (gusano cogollero) y para diabrotica (plagas de la raíz) proviene de universidades públicas, la cual se genera esporádicamente y se refiere sólo a algunas zonas maiceras (Bahena, 2003).
- Las líneas *Bt* actualmente disponibles en el mercado no son relevantes para algunas de las principales plagas de México como el gusano cogollero. Tampoco es previsible que las compañías semilleras tengan suficientes incentivos económicos para desarrollar líneas que expresen toxinas *Cry* específicas ya que, como se dijo, el mercado mexicano es pequeño y altamente heterogéneo.
- El empleo de semillas *Bt* hace imperativa la creación de “refugios”. En el caso de que se prescindiera de la aplicación de insecticidas, se asigna de 10 a 20% de la superficie de cultivo a la siembra de variedades convencionales. Pero cuando los insecticidas se tienen que aplicar —dado el nivel de infestación de plagas en la zona— el área de amortiguamiento se incrementa hasta 40% de la superficie total. Como las zonas de refugio son las que sufren mayor daño por el ataque de plagas habría que ponderar si dichas pérdidas se compensan con posibles incentivos económicos provistos por parte de las compañías semilleras, o bien habría que incluirlas como mermas en la contabilidad del cultivo (Altieri y Rosset, 1999).
- En el caso de los maíces *Ht* no se descarta que para capitalizar posibles ahorros en el rubro de herbicidas sea necesaria la pre-

sencia de economías de escala en las unidades de producción. Es decir, dado que en México —incluso en la agricultura empresarial— la producción maicera se hace en predios de mucho menor tamaño que en la agricultura de Estados Unidos o Argentina, no son esperables los mismos beneficios que se observaron en los primeros años subsecuentes al uso de semillas transgénicas en dichos países.

- Entre las externalidades a considerar se tendría que tomar en cuenta un mayor uso de herbicidas por la presentación de resistencia en las malezas y, en consecuencia, daños acumulativos a los acuíferos e impactos en los ecosistemas acuícolas, como el ocasionado en el Mar de Cortés por efluentes agrícolas provenientes de los estados del noroeste. Igualmente, como se ha dicho reiteradamente, se tendría que tomar en cuenta la presentación de resistencia en los insectos, ello a pesar de la utilización de los denominados refugios y de las estrategias de las compañías semilleras de reducirlas mediante la incorporación de transgenes que expresen simultáneamente varias toxinas de la bacteria *Bt* (*Bacillus thuringensis*).

La siembra de transgénicos en el marco de la bioeconomía

La bioeconomía de un país o de una región puede considerarse como el conjunto de actividades de investigación y desarrollo e innovación que aprovechan sustentablemente los atributos presentes en sus recursos genéticos, generando nuevos procesos y productos en beneficio de sus ciudadanos e industrias. Los beneficios pueden incluir ganancias en la productividad, en el valor nutrimental de los alimentos, así como un mayor cuidado del medio ambiente (OECD, 2005). Si bien la bioeconomía depende de la concatenación de los avances científico-tecnológicos de la biología, la química y la informática, su orientación y conducción tienen que ver directamente con la política pública, pues incide no sólo en el uso sustentable de los recursos genéticos sino también en el crecimiento económico y en la distribución de beneficios. Por lo mismo, los derechos de propiedad intelectual sobre las variedades mejoradas añaden una dimensión adicional a la conducción de la bioeconomía.

Desde el punto de vista bioeconómico, la mayor repercusión en la agricultura mexicana del uso de cultivares transgénicos consiste

en la altamente probable diseminación de los transgenes tanto a los cultivares convencionales del sector privado y público como a los cultivares autóctonos de los pequeños productores e indígenas (Serratos *et al.*, 2000; Kato, 2004). Las vías de diseminación de los transgenes son básicamente la polinización cruzada entre sembradíos contiguos o vecinos y la que podría ocurrir por la práctica de los productores tradicionales de intercambiar semillas y de probar muestras de cultivos que encuentran en los campos de cultivo, además de la importación y siembra ilegal de dichos materiales. Varios investigadores mexicanos afirman que la diseminación de transgenes equivale a un proceso acumulativo de “introgresión no asistida” que —al cabo de algunos ciclos agrícolas— puede ocasionar daños al genoma del maíz e inclusive reducir la prolificidad de la especie, entre otras afectaciones a la planta (Kato, 2004).

La ponderación de costos y beneficios para la agricultura nacional por el uso comercial de maíces transgénicos supone, en primer lugar, la valoración económica del acervo de germoplasma en su estado actual (Smale *et al.*, 1998). Por ser éste el principal activo de la bioeconomía del maíz, cualquier estimación sobre su valor económico real sería parcial porque su prospección, caracterización y aprovechamiento en programas de mejoramiento no ha sido exhaustivo; de modo que las variedades actualmente disponibles en el mercado derivan de sólo una decena del total de 59 razas. Es decir, tanto las instituciones públicas como las compañías semilleras se circunscriben a un conjunto de colecciones *ex situ* dejando a otras de lado por considerarlas marginales. No obstante, tanto estas últimas como el germoplasma del maíz y de especies silvestres emparentadas (teocintle (Serratos *et al.*, 1996) y *Tripsacum*) en constante transformación y que aún no ha sido siquiera identificadas para ser evaluadas, podrían albergar los genes específicos para hacer frente a factores bióticos y abióticos adversos en el presente y el futuro. Tampoco existe, hasta ahora, una metodología confiable para establecer grados o niveles de diversidad genética, lo que resta posibilidades a una valoración económica de ésta (Morris y Heisy, 1998). Al respecto, es importante subrayar que no existe un indicador único de diversidad de los recursos genéticos; existen varios y los disponibles dependen de la posibilidad de agrupar rasgos, marcadores, plantas individuales o poblaciones para derivar indicadores de disimilaridad entre éstos (Evenson y Lemarié, 1998). Además, los criterios de elección de los investigadores, con un determinado propósito, pueden diferir de los que utilizaría un agricul-

tor para definir diversidad y por tanto para valorar empíricamente el grado de diversidad presente o deseable.

De modo que, en la actualidad, no es posible dar cabal respuesta a tres preguntas torales: ¿cuál es el potencial económico del acervo de germoplasma mexicano?, ¿vale lo mismo el germoplasma en su estado actual que mezclado con genes de otras especies?, y ¿cómo garantizar el acceso en el largo plazo a los instrumentos de la bioeconomía —la biología molecular, la genética, la genómica, la proteómica y la química fina— de su materia prima: la biodiversidad de maíz? Respecto de este último punto, vale recalcar —como es evidente y ampliamente reconocido— que el logro de niveles sostenibles de productividad agrícola nacional y mundial suponen el uso continuo y el acceso irrestricto a germoplasma con amplia diversidad y variabilidad genética (Day-Rubenstein *et al.*, 2005).

En consecuencia, México, por ser centro de origen y depositario de la mayor diversidad de maíz —sujeta ésta a dinámicos procesos, tanto evolutivos como de erosión genética—, tiene una gran responsabilidad, actual y futura, en el aprovechamiento sustentable de sus recursos genéticos, y no sólo para con sus propios ciudadanos, sino también con toda la humanidad. Es por esto que el punto de partida, o la base, para decidir el uso de los maíces transgénicos en México es completamente distinto al de los países altamente industrializados que no son biodiversos, como lo es también para los países que se ven forzados a usar semillas transgénicas por la crisis alimentaria en ciernes (Dafang, 2010).

Papel del Estado en la conservación

El papel del Estado en la conservación del germoplasma es insustituible, ya que el germoplasma es, y debe mantenerse como, un bien común. Por lo tanto, la prospección, conservación y uso de los recursos fitogenéticos es una actividad estratégica y una responsabilidad ineludible del Estado mexicano. Actualmente, los derechos de propiedad intelectual sobre materiales genéticos privados —si bien protegen la inversión de las empresas— podrían, en el futuro, restringir el acceso a los actores más débiles como son las empresas semilleras medianas y pequeñas.

Otro aspecto crítico es que la legislación sobre la propiedad intelectual que protege a los maíces transgénicos en Estados Unidos es doble: los certificados de obtentor se otorgan a los híbridos y los de patente a los

transgenes. Cabe la pregunta, ¿su aprobación y vigencia plena de derechos de propiedad intelectual incidiría en la jurisprudencia mexicana en la materia? Se toca este punto porque la política mexicana de protección industrial excluye el otorgamiento de patentes a organismos vivos. En Estados Unidos la alta concentración de las patentes biotecnológicas en un puñado de empresas genera ya controversia en lo referente a la justa competencia mercantil (Moss, 2009). Asimismo vale cuestionarse si las empresas dueñas de un determinado transgen demandarían legalmente a las pequeñas y medianas semilleras que ofertan variedades de maíz si éstas se contaminan en campo, posibilidad que afectaría su supervivencia en el mercado (Turrent y Espinosa, 2013).

El fomento de la bioeconomía del maíz no puede circunscribirse a la agricultura empresarial del país, ni depender de las decisiones de las empresas privadas que pretenden desarrollar sus productos a partir de una base genética estrecha. Esto podría implicar, precisamente, mayores grados de vulnerabilidad ante nuevas plagas y enfermedades, como el brote epidémico del hongo *Helminthosporium maydis* en 1970 en Estados Unidos (Tatum, 1971). Al respecto, se propone que la condición de empobrecimiento de la base genética en una determinada región o país se exacerba por un proceso social denominado “trampa social” (Schmid, 1987). Se ha observado que cuando los productores de una región cuentan con una dotación de recursos, incentivos, conocimientos y experiencias similares, tienden a adoptar los mismos cultivares (Morris y Heisy, 1998). Se llega entonces a una situación en la que las decisiones de los agricultores individuales, actuando en su propio interés, producen una situación indeseable de “homogeneidad” para el conjunto de productores, pues se incrementan por igual los riesgos ante factores bióticos y abióticos. De esta manera, la interacción de las decisiones de las empresas semilleras, el proceso social descrito, más el abandono —y pérdida definitiva— de las variedades de polinización libre por los maiceros que adoptan cultivares híbridos se podrían potenciar en un creciente proceso de empobrecimiento genético del cultivo.

Las posibles acciones de fomento por parte del Estado tendrían que incluir a los maiceros tradicionales, que suman 3.2 millones de familias, quienes al sembrar y mejorar *in situ* sus propias variedades custodian y fomentan la diversidad y variabilidad del maíz. Una forma de promover la participación de indígenas y campesinos en la conservación *in situ* es otorgando apoyos económicos tanto a la producción en milpa como a la reproducción de cultivares que sean de interés para los productores

así como para la SINAREFI (Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura). Se les reconocería con ello un servicio ambiental. Otra medida sería el fortalecimiento de programas de mejoramiento genético del sector público en zonas de alta diversidad a fin de que, por medio del enfoque participativo, se generen cultivares relevantes que los agricultores deseen conservar (Perales *et al.*, 1998). Precisamente, los maiceros tradicionales no adoptan variedades producidas por las compañías semilleras diseñadas para incrementar rendimientos porque, generalmente, no buscan maximizar ganancias sino su valor de uso (Perales *et al.*, 1998). Otra razón es que también las variedades generadas por el sector público no corresponden a las condiciones de sus agroecosistemas específicos.

Lo anterior, no significa dejar de aprovechar los avances de la biotecnología para reforzar el trabajo de caracterización del germoplasma y el mejoramiento genético —mediante marcadores moleculares— así como la introducción de alelos de una determinada variedad de maíz que expresen atributos deseables en otras variedades de la misma especie. Tampoco significa negar la importancia de la biotecnología para desarrollar tecnologías de biorremediación de suelos contaminados o de paquetes para diagnóstico que permitan detectar virus, hongos y otros patógenos a fin de tomar las decisiones pertinentes en esquemas de manejo integrado de plagas (Visser, 1998). Por ello, se requiere de una política biotecnológica para el maíz, que oriente los trabajos para generar los materiales que requieren las diferentes regiones del país y los diferentes sistemas de producción, preservando la diversidad genética de los materiales nativos.

El fomento de la cadena de valor del maíz por medio de las aplicaciones biotecnológicas descritas podría complementarse con diferentes instrumentos de propiedad intelectual: denominaciones de origen para maíces de especialidad, como lo ha hecho el gobierno del Perú, y posiblemente obtención de marcas “libre de transgénicos”, y la adopción de etiquetados similares que permitan alcanzar mejores precios en los mercados (Valetta, 2009). El desarrollo de la bioeconomía descansa en dos pilares: la conservación de la biodiversidad y variabilidad genética, y la puesta en marcha de un efectivo aparato de bioseguridad (Massieu *et al.*, 2000).

Finalmente, conviene consignar que el hecho de no haberse autorizado hasta ahora el uso comercial de maíces transgénicos brinda a México la oportunidad única e irrepetible de proporcionar maíz “natural”

como insumo a su cadena de valor. Esto permitiría tanto a cooperativas de agricultores como a las industrias harineras y a la de los productos refinados como jarabes y otros edulcorantes ofertar dichos productos en el extranjero con atractivos sobrepuestos. El jarabe de fructosa elaborado con harinas de granos no transgénicos —independientemente de su valor nutricional o de su inocuidad— gozaría de la preferencia de aquellos consumidores que premian la producción sustentable de alimentos. Los productos y refinados de maíz tendrían mayor aceptación que aquellos que utilizan granos transgénicos como insumo. Tampoco se debe excluir la posibilidad de exportar cortes de carne de animales engordados con pasto y maíz no transgénicos.

Si bien la producción orgánica de maíz o la producción con bajos insumos representan una alternativa para pequeños productores, la introducción de semillas transgénicas tiene el potencial de anular o afectar —vía diseminación de transgenes— el proceso de certificación orgánica y la posibilidad de aprovechar etiquetas “libre de transgénicos” para los productos de maíz en busca de sobrepuestos. Igualmente, se podría diseminar transgenes que confieran resistencias a poblaciones de insectos y a malezas en los predios de los productores orgánicos o de bajos insumos.

Dimensión política del uso de maíces transgénicos

Ciertamente, la presión que ejercen las empresas semilleras extranjeras para lograr la autorización del uso comercial de transgénicos en México no ocurre en un vacío productivo, ni sociopolítico o histórico. Confluye y se refuerza con el avance de la agricultura intensiva en capital en el país ligada a la industria proveedora de insumos y de la transformación, y que carece de sustentabilidad si se considera el daño a suelos y acuíferos, así como el enorme gasto energético que implica.

Al respecto resulta de sumo interés constatar algunos paralelismos entre los patrones de innovación tecnológica de Estados Unidos y México. El primero tiene su fundamento tanto en la liberación comercial de las primeras variedades híbridas, en 1860, como en el empleo masivo de fertilizantes químicos y el concomitante proceso de mecanización agrícola que desplazó 30 millones de agricultores que fueron empleados por las industrias (Polanco, 1990). La industrialización del maíz (almidón y piensos ganaderos) tiene sus antecedentes igualmente en el siglo XIX y continúa en el XX con la obtención de productos refinados como el jarabe de alta fructosa y de

varios combustibles (Polanco, 2008). Los procesos de innovación han sido vertiginosos: como ya se dijo, el desplazamiento de las variedades de polinización libre por variedades híbridas convencionales llevó sólo 30 años y el de éstas por las semillas transgénicas la mitad de ese lapso.

De manera convergente, en Estados Unidos se ha dado un doble proceso de concentración: de las tierras de cultivo y en el sector industrial de los insumos, el cual condujo, primero, a la integración de las industrias farmacéuticas, de fertilizantes y semillas, y después —mediante fusiones y adquisiciones entre éstas— a la actual preeminencia de cinco grandes consorcios multinacionales, entre las cuales una empresa se ha erigido en la dominante. El liderazgo de dicha empresa se debe al desarrollo de una *plataforma semillera* que descansa en su avanzada capacidad en materia de genómica e ingeniería genética, en la propiedad de las patentes de los transgenes, en la posesión de los híbridos de élite y el control de los canales de distribución comercial (Moss, 2009). Se argumenta que esta empresa líder recurre a conductas que inhiben la competencia, pues impide el acceso a sus transgenes a las compañías rivales y crea incentivos negativos a las empresas semilleras locales que no le sirvan de canal comercial (Moss, 2009). Otros aducen que la enorme concentración de la industria biotecnológica agrícola ha desacelerado la inversión en investigación y desarrollo (Schimmelpfennig *et al.*, 2004), y que reduce aún más las opciones de los agricultores ya inmersos en el uso de cultivares transgénicos. También se afirma que el predominio de los cultivos transgénicos ha reorientado la agenda de investigación del sector público, restando recursos financieros a otros tópicos de mayor interés para la sociedad en su conjunto, como la producción agroecológica del maíz (Altieri y Rosset, 1999). Sin duda, la pauta actual de innovación agrícola es establecida por la industria biotecnológica que, de manera creciente —vía precios y reducción de alternativas al agricultor— tiende a apropiarse de una proporción creciente de los márgenes de ganancia de los productores.

El acceso y control de los frutos de la genómica y la biología molecular por medio de patentes, junto con el de los canales directos de comercialización de semillas, ha sido un factor determinante en la configuración del actual complejo agrobiointustrial de Estados Unidos —de alcance global— que ha trastocado, de hecho, el carácter de las tradicionales cadenas agroindustriales integradas verticalmente. En la actualidad, el acceso al genoma de numerosos organismos permite la confluencia de los negocios en torno a la oferta de productos alimenticios, nutricionales, farmacéuticos y bioenergéticos.

En cambio, en México el patrón de innovación tecnológica de la agricultura empresarial, aunque apunta en el mismo sentido que el estadounidense, tiene otros tiempos y antecedentes. Los principales esfuerzos de modernización de la agricultura mexicana fueron emprendidos por los sucesivos gobiernos posrevolucionarios y consistieron en la expansión de la infraestructura hidráulica, la provisión de crédito y seguro agrícolas, el establecimiento de instituciones de investigación y la prestación de servicios de asesoría técnica y apoyos a la comercialización. La administración de estos servicios en México fue altamente centralizada en contraste con el papel coadyuvante en el desarrollo agrícola de los estados y condados estadounidenses.

La estrategia de modernización del aparato de investigación agrícola mexicano, apoyada desde 1943 por la Fundación Rockefeller, tuvo dos vertientes: la formación de recursos humanos en universidades *Land Grant* de Estados Unidos, y la definición de un programa de mejoramiento genético del maíz que dio preferencia a los cultivares híbridos sobre las variedades de polinización libre, las cuales se acoplan a las prácticas de selección y conservación de semillas de los agricultores tradicionales. Curiosamente, en sus primeras etapas, este programa estadounidense de formación de doctores en ciencias dejó de lado la genética, reservando, quizás, tal función a la iniciativa privada (Polanco, 2008).

Con estas decisiones de política pública se optó por el desarrollo agrícola de zonas de riego y buen temporal y se dejó de lado la agricultura tradicional practicada por pequeños productores e indígenas. La prioridad de dichas políticas era incrementar los rendimientos por hectárea para asegurar el abasto de alimentos, a bajo precio, a la creciente población asentada en zonas urbanas. Se privilegió el desarrollo agrícola a costa del desarrollo rural pues se dejaron de considerar los objetivos y necesidades de los productores tradicionales: se desdeñaron los conocimientos autóctonos, las semillas nativas altamente adaptadas a los numerosos nichos ecológicos y en particular de ignoró por completo al sistema productivo de la milpa.

No sorprende, por tanto, que el país carezca de una política apropiada de recursos genéticos centrada en los derechos de los campesinos e indígenas (Martínez y Torres, 2001) dirigida a generar beneficios económicos a favor de dichas comunidades. También derivado de lo anterior, tampoco debe sorprender que los tomadores de decisiones de la economía y la agricultura de México consideren al maíz como una mera mercancía a ser producida localmente o importada según las

denominadas ventajas comparativas de la agricultura, sin considerar el valor, significado y múltiples usos que tiene la planta y su grano para las comunidades rurales.

Además, la inclusión del maíz en el TLCAN se hizo sin tomar en cuenta la competencia desigual con los países socios comerciales ni el creciente uso del maíz como insumo por la industria de los biocombustibles. Al respecto, vale recordar que el interés del *lobby* maicero estadounidense de vender maíz a México se remonta al siglo XIX (Nadal, 2000). La apertura comercial en el estratégico y neurálgico rubro del maíz se hizo sin tomar en cuenta el papel colectivo e individual de los agricultores tradicionales en la conservación de la biodiversidad del cultivo, ni la vulnerabilidad de los sistemas de producción tradicionales del grano, los cuales —aunque dirigidos al autoconsumo— resintieron los impactos económicos en cascada provocados por el grano importado a bajo precio. Un estudio comparativo entre Estados Unidos y México demuestra que la estructura de apoyos difiere sustancialmente: mientras en México el grueso de éstos son apoyos directos al productor, en Estados Unidos se canalizan principalmente a los servicios, es decir, a la innovación tecnológica (Puente, 2010), por lo que la brecha de competitividad entre ambos países crece. Sin duda, las importaciones masivas de alimentos contribuyeron a la migración masiva e ilegal de agricultores y peones hacia Estados Unidos, y con ello a debilitar las redes sociales que mantienen la diversidad y variabilidad genética de nuestro principal alimento. La quiebra de decenas de miles de productores derivada en parte por los efectos del TLCAN orilló a muchos a la siembra de cultivos ilícitos y de paso atizó la creciente dependencia alimentaria de Estados Unidos en cereales, oleaginosas y, más recientemente, de leche en polvo.

Las políticas neoliberales puestas en marcha en particular desde los noventas, redujeron el aparato público de investigación agrícola, desembocando en la privatización de los servicios públicos de extensión y la cancelación de las empresas paraestatales productoras de semillas y de fertilizantes. La privatización de Fertimex hace ahora necesaria la importación de urea de Ucrania, y el cierre de la PRONASE permitió a las empresas importadoras transformarse en productoras y a las multinacionales asentarse en el país. Dos de ellas concentran actualmente el grueso del mercado y, sin duda, por el alto potencial de rendimiento y estructura de planta de sus híbridos, contribuyen actualmente a la alta productividad maicera de Sinaloa y otros enclaves en Jalisco y Chihu-

ahua. En contraste, son pocas las empresas nacionales abocadas al maíz y atienden mercados pequeños. No obstante, la ausencia de la industria estatal de semillas, por un lado, deja sin salida al INIFAP para colocar sus variedades en el mercado y, por el otro —en un mercado oligopólico—, favorece la tendencia alcista del precio de las semillas (Polanco, 2008).

Mientras que en la Unión Europea el proceso de legislación y reglamentación de la bioseguridad de los cultivos transgénicos atiende y balancea los intereses de la ciudadanía y de la industria, y se apoya en estructuras supranacionales que incorporan los aspectos de legitimidad y legalidad (Skogstad, 2003), en el caso de México, inserto en el TLCAN, la aprobación de los transgénicos y su reglamentación se da bajo el influjo del bilateralismo, por el cual el USDA —respondiendo a los intereses de las multinacionales— presiona a México hacia una política agrícola que renuncia a la soberanía alimentaria y de los recursos genéticos.

Además, el TLCAN tiene instrumentos débiles para atender los aspectos ambientales y de equidad relacionados con el proceso de integración económica de la región, quizá porque las multinacionales influyen —si no es que determinan— la definición de las políticas públicas de Estados Unidos y Canadá, que no tienen mayor biodiversidad maicera que defender, además de que la presión ciudadana para demandar una agricultura sustentable no es lo suficientemente fuerte.

El interés por lograr la aprobación de maíces transgénicos ha sido esencialmente de las empresas multinacionales radicadas en México. La SAGARPA no ha tenido en los últimos lustros una vocación clara para la producción temporalera o tradicional de maíz, salvo el Programa de Apoyo a la Cadena Productiva de Maíz y Frijol, PROMAF, cuyos recursos monetarios benefician más a las entidades que funcionan como intermediarias financieras y a las empresas proveedoras de insumos y equipo agrícolas que a la población objetivo, siendo frecuente los desvíos y mal uso de recursos por parte de las organizaciones de productores (Revista digital contralínea, 2010). Otros modestos apoyos son los que se canalizan a la conservación de germoplasma, por medio de la SENEREFI. En marcado contraste los subsidios que otorga el Gobierno Federal, a través de PROCAMPO, benefician de manera inequitativa a los productores con predios grandes; similarmente los Apoyos a la Comercialización, se concentran en los estados de Sinaloa y Tamaulipas (Durán *et al.*, 2005; Fox y Haight, 2010) e incluyen a empresas comercializadoras como Cargill *para cofinanciar el traslado de grano hacia el centro del país.*

Las empresas semilleras multinacionales han efectuado una larga e intensa labor de cabildeo ante el Gobierno Federal, el Poder Legislativo, los medios de comunicación masiva y entre algunas asociaciones de productores de grano. Los argumentos han sido los de una mayor productividad y el del cuidado del ambiente como resultado de un menor uso de agroquímicos. También algunas asociaciones de productores de maíz en las áreas de riego del norte del país, han externado su interés por usar variedades transgénicas. No obstante, no se cuenta con *una clara estrategia productiva que busque la especialización regional por tipos de maíz —maíz amarillo de uso ganadero e industrial para el noroeste del país y partes del estado de Jalisco, y en el resto del país los maíces blancos y de “colores” para consumo humano—, con lo cual se consolida el desbalance productivo y las importaciones de maíz amarillo continúan al alza.*

Las estrategias de las multinacionales en México para lograr la aprobación de sus semillas transgénicas han incluido una gama de acciones complementarias:

- Cooptación de la Asociación Mexicana de Semilleras, AMSAC, y desde ahí marcar el rumbo de la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas del 2007 (Diario Oficial de la Federación, 2007), así como la participación en la creación del Sistema Nacional de Semillas, de carácter consultivo para la SAGARPA en la definición de políticas, y pugnar por una sobrerrepresentación en su órgano de gobierno;
- constitución de una sociedad civil que financia y premia trabajos de biotecnología e incluso de periodismo afín;
- apoyo mediático a maíces tolerantes al aluminio generado en una institución del sector público;
- cooptación de iniciativas de organizaciones de productores para la conservación de germoplasma de variedades nativas;
- desacreditación de los cuestionamientos realizados por investigadores de instituciones públicas;
- promoción de la propuesta de coexistencia de cultivo de maíces “criollos” y transgénicos (Cunill, 2003) mediante la creación de áreas reservadas a los maíces autóctonos;
- intenso cabildeo ante el Congreso de la Unión e instancias de la SAGARPA;
- campañas mediáticas que presentan los maíces transgénicos como la solución a los problemas de productividad y desabasto de gra-

no, en las cuales los agricultores mexicanos claman estar en una situación de franca desventaja —sin semillas transgénicas— ante la competencia de los agricultores de Estados Unidos;

- modificación de las percepciones del público respecto del uso de semillas en la agricultura, aduciendo que la gente ya los consume en tortillas y otros alimentos preparados con granos de importación.

Las campañas mediáticas y el cabildeo del complejo agrobiotecnológico que busca difundir sus productos transgénicos ha sido relativamente exitoso en ciertos círculos gubernamentales y empresariales, y aun entre académicos de México y de los Estados Unidos. Un estudio, realizado por la Universidad de Harvard en México sobre la percepción de los actores políticos involucrados en el debate en curso sobre dichas tecnologías, afirma que los encuestados ven la ingeniería genética como una promesa para lo que ellos consideran la prioridad: la producción maicera en condiciones de sequía; se preocupan por la resistencia de las plagas a los *Bt*, y estiman que el etiquetado que advierta sobre los insumos transgénicos en los alimentos debe ser obligatorio, aunque dudan de su observancia. El estudio concluye que el debate público en México lo dominan actores moderados tanto del gobierno como de la academia, lo que evita “la lucha inefectiva entre posiciones dogmáticas” (Aerni, 2001).

Empero, no hay que perder de vista que la autorización del uso comercial de semillas de maíces transgénicos se daría en un contexto de marcado deterioro del aparato público responsable de la vigilancia y el cumplimiento del marco de bioseguridad. Esto no sorprende, pues el desmantelamiento institucional ha continuado y la inversión pública en recursos humanos, infraestructura y gastos de operación de las funciones sustantivas de impulso a la bioeconomía, se canalizan preferentemente hacia los programas asistencialistas de la población rural.

Destacan las siguientes áreas sensibles:

- la erosión institucional del INIFAP en términos de recursos humanos, presupuestos y funciones. El Instituto que antes se encargaba de realizar pruebas sobre la calidad de insumos agrícolas las ha abandonado porque las actuales directrices de política asumen que son las compañías privadas las encargadas de orientar al consumidor sobre la cantidad y calidad de los insumos agrícolas

a ser utilizados. Se parte del supuesto de que los mecanismos de mercado premian o castigan a las empresas por la calidad de sus bienes y servicios. Además, el Instituto no puede destinar recursos suficientes a la urgente actualización y renovación de su plantilla de investigadores;

- la debilidad de las instancias públicas de regulación y vigilancia de la bioseguridad. El hecho de que no se pongan en marcha mecanismos que aseguren la inocuidad respecto de las aflatoxinas en el maíz y la soya que se importa masivamente de Estados Unidos invita a pensar que se combinan la falta de voluntad política con la debilidad institucional en detrimento de los objetivos de salud pública. ¿Por qué sería distinto en el caso de las semillas transgénicas de maíz?;
- el actual marco institucional del país —conformado por el conjunto de valores actitudes y conductas de los actores económicos, sociales y políticos— facilita actos ilícitos y de corrupción como el contrabando de semillas transgénicas de maíz en estados fronterizos. Las actuales reglas del juego no permiten imaginar que se impongan sanciones a infractores a la pautas de bioseguridad, a las normas de aseguramiento de la calidad e inocuidad de alimentos, así como al etiquetado de productos alimenticios.

La autorización de siembras comerciales de maíces transgénicos no es una decisión técnica que se pueda reducir al solo propósito de disminuir el uso de agroquímicos o de mejorar rendimientos en campo que incrementen la rentabilidad del productor y contribuyan al abasto de grano y forraje. Es una decisión política de vastos alcances que incide en el uso sustentable de los recursos naturales, y también una decisión que atañe a la equidad social, pues hasta ahora dicha tecnología no resuelve de manera clara los problemas que dicen las empresas semilleras y, en cambio, resta oportunidades de mercado, no sólo a los productores tradicionales —campesinos e indígenas—, sino a la cadena de valor en su conjunto. El uso de transgénicos podría también afectar la inocuidad del principal alimento del pueblo mexicano, sobre todo porque fácilmente se desviarían granos importados, o en su caso producidos en México, para alimentar el ganado, y producir harinas y masa para tortillas. No se puede excluir que a los graves problemas de salud pública, obesidad y diabetes, por ejemplo,

se agreguen otros padecimientos crónicos como alergias y procesos inflamatorios derivados del consumo de alimentos transgénicos. La economía laboral resentiría una carga adicional, como ausencias en el trabajo, erogaciones por medicamentos y consultas, y una mayor saturación de las instituciones médicas.

Las biotecnologías que modifican el genoma de los cultivos estratégicos no son neutrales, debido a que sus alcances dependen del contexto socioeconómico y cultural al que se destinen. Los costos en investigación y desarrollo obligan a las empresas privadas, por un lado, a concentrarse en pocos materiales genéticos y, por el otro, a asegurar dividendos mediante mecanismos de protección intelectual como las patentes y certificados del obtentor. Así mismo, las exigencias de la producción agrícola industrial imponen criterios de uniformidad de las variedades utilizadas, por ejemplo de la altura de plantas para la cosecha mecánica. El cambio de escala resulta de los procesos de crecimiento de las unidades de producción, y por ende, de la concentración de la tierra para paliar los efectos de sobreproducción y descenso en la rentabilidad por unidad de superficie. Igualmente el cultivo de grandes superficies facilita la aplicación o subcontratación de la aplicación de herbicidas. Visto en conjunto, este modelo de producción genera altos costos económicos, sociales y ambientales porque se hace a costa de la biodiversidad y variabilidad genética del maíz, del dispendio de agroquímicos, energéticos y agua y, como se ha visto, inhibiendo de paso la competencia comercial. La emigración masiva de productores rurales y la erosión genética de su principal cultivo tiende a disolver el vínculo entre conocimientos ancestrales, aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos y enriquecimiento de bienes intangibles —por ejemplo, de la gastronomía u otros usos culturales. La profundización del modelo de capital intensivo en México —mediante el uso de semillas transgénicas— no es una fatalidad: el mismo Banco Mundial reconoce la importancia de los pequeños productores y de la urgencia de revertir el deterioro de los recursos naturales.

Conclusiones

La búsqueda de ganancias lícitas es inherente a la empresa privada. Y es comprensible que las compañías semilleras busquen ampliar sus mercados internacionales y recuperar las cuantiosas inversiones que

realizan en el mediano y largo plazo: el proceso de obtención de un nuevo cultivar transgénico dura alrededor de 10 años y cuesta cerca de 30 millones de dólares (Manalo y Ramón, 2007). De dicho monto, aproximadamente dos terceras partes corresponden a erogaciones relacionadas con el cumplimiento del marco de bioseguridad y los gastos de promoción y mercadeo (Manalo y Ramón, 2007). Por lo anterior, también es comprensible que pugnen por simplificar las regulaciones de bioseguridad e incluso homologarlas, y sincronizar los procesos —como se solicita en el caso de la Unión Europea (Rosendal, 2005). Es fácil también apreciar que para el complejo agroindustrial estadounidense resulta estratégico recuperar mercados abatiendo la resistencia de los consumidores de otras naciones a sus exportaciones de soya y maíz transgénicos y su derivados.

Lo que no se comprende es lo siguiente: ¿por qué no se sigue una política diferenciada de introducción de cultivares transgénicos en aquellos países que son origen y fuente de la mayor diversidad del cultivo en cuestión? Tal es el caso del maíz en México. O ¿acaso consideran las empresas que el acervo de maíz en los bancos de germoplasma en Estados Unidos representan toda la biodiversidad y variabilidad existente? Más allá de especulaciones, el hecho es que la primera generación de maíces transgénicos, *Ht* y *Bt*, no tiene resultados consistentes horizontalmente, es decir en unidades de producción bajo diversas condiciones, ni longitudinalmente a lo largo de los años. Poner en riesgo el germoplasma de la fuente y sitio de mayor biodiversidad del maíz va en contra del interés, en el largo plazo, de las mismas semilleras transnacionales.

Tampoco se comprende el esfuerzo desplegado por las compañías multinacionales para lograr la introducción de semillas transgénicas en un mercado de tamaño tan limitado como es el de la agricultura empresarial de México. A no ser que el plan de negocios sea más bien la producción de semillas para exportación; en México podrían lograr dos cultivos al año y bajar sensiblemente sus costos de mano de obra —por ejemplo, del desespigue en la producción de híbridos—, amén de la cercanía con el mayor mercado mundial.

Aun cuando las semillas transgénicas tuvieran beneficios económicos a nivel del productor, no se pueden soslayar los riesgos al medio ambiente, al acervo de germoplasma y la salud pública, de modo que el mejor análisis es el de riesgos —los cuales no vale la pena correr bajo el marco institucional vigente y la escasa capacidad de un aparato

público de bioseguridad debilitado aún más por la nula colaboración de las mismas multinacionales semilleras para desarrollar instrumentos de vigilancia y detección precisos, confiables y creíbles.

En suma, la primera generación comercial de semillas transgénicas de maíz *Ht* y *Bt* representa sólo una tecnología biológica entre varias. Destacan otras alternativas de alta complementariedad y bajo costo: la producción orgánica, el empleo de biofertilizantes y bioinsecticidas, la producción con bajos insumos y de labranza de conservación, la mediana y pequeña “agricultura de precisión”, las labores de control de malezas, el manejo integrado de plagas, y las mejoras del predio en terrenos accidentados como bordos y trazado de curvas de nivel. La producción de maíz orgánico puede ser para México una alternativa de gran impacto, tanto en el mercado nacional como internacional, más aún si se considera que es una práctica tradicional y también obligada —por la falta de capital de los maiceros y acceso a insumos— en los estados del centro y sur del país, en donde prevalece la siembra de materiales nativos o autóctonos con mínimo o nulo uso de fertilizantes y pesticidas. El impacto de esta opción también podría expandirse en combinación con la labranza de conservación, con la cual se tiene, además de ahorros importantes en el uso de la maquinaria, un mejor uso de la humedad disponible y, desde luego, un mayor cuidado del recurso suelo.

La producción de bajos insumos es la que ya practican muchos maiceros tradicionales, en monocultivo y en la milpa, pero requiere una cercana interacción de los productores con las instituciones de investigación científica para potenciarse, así como la integración de esfuerzos ahora dispersos de mejoramiento genético participativo, conservación *ex situ* y *in situ* de germoplasma, de rescate del conocimiento local y de conservación de suelos.

En cuanto al manejo de plagas, se tendría que profundizar y escalar las experiencias, como la de los investigadores del INIFAP y de las universidades agrícolas —por ejemplo, investigadores del Instituto han identificado alrededor de 70 parasitoides que combaten la plaga del cogollero (entrevista a los Dres. Alejandro Espinosa y Antonio Turrent). La disminución en las pérdidas de postcosecha, estimadas en 15 a 20%, por medio del mejoramiento de las condiciones de transporte y almacenamiento puede generar mayores beneficios financieros y económicos que los máximos estimados para los materiales transgénicos.

Un punto muy importante es que uno de los principales argumentos de las empresas multinacionales productoras de semillas transgénicas es

que sus productos son indispensables para cerrar las brechas productivas en la zonas maiceras. El argumento no es sólido pues de acuerdo a un estudio reciente en zonas temporaleras de Jalisco sobre los resultados de un esquema de asistencia técnica intensiva por parte de la empresa privada Atider, demuestra que la ejecución oportuna de labores y la racionalización en el uso de agroquímicos resulta en rendimientos comparables al promedio logrado por los maiceros de los EUA y los que se obtienen en Sinaloa en condiciones de riego. Resultados similares han sido reportados por otra empresa privada de asesoría técnica, Cycasa, también del estado de Jalisco.

La discusión sobre el uso de transgénicos de maíz ha sido larga y acalorada, pues atañe al patrimonio biológico y cultural de México y a la salud de los consumidores. La cadena de valor del maíz requiere una política integral que aborde los aspectos relativos a la conservación de los recursos naturales, los incentivos, la inocuidad alimentaria y el crecimiento económico con equidad social. Asimismo, se requiere una política biotecnológica de Estado para el desarrollo de la misma en el mediano y largo plazo, valorando los beneficios económicos, sociales y ambientales para el conjunto de la población, y que permita establecer un marco de bioseguridad con base científica, así como dirimir, con argumentos sólidos, posibles diferendos con las empresas transnacionales.

No se trata de limitar los beneficios de la investigación biotecnológica, ni de ignorar los costos ambientales de las actuales modalidades tecnológicas intensivas en capital que hacen un uso irracional de fertilizantes y agroquímicos. En cambio se trata de incorporar, de manera decisiva, la visión pública, y utilizar sus resultados en beneficio del país, principalmente del 80% de los productores del maíz. De lo anterior se puede concluir que el uso de transgénicos del maíz no está en el interés de la sociedad, de la conservación de la biodiversidad genética, ni de la gran mayoría de los agricultores. No es válido que después de varias décadas de ausencia de una política pública para resolver la limitada producción e ingresos de los productores, ahora desde los altos centros de decisión se considere tener la solución con el uso de transgénicos, con todos los riesgos que ello implica. Alternativamente, se tienen materiales genéticos relevantes y tecnologías apropiadas para elevar de manera significativa la producción y los ingresos, aunque ello requiere de un esfuerzo conjunto del gobierno, productores y sector privado. La producción sustentable y socialmente equitativa de maíz es un proceso largo, continuo y consistente.

Referencias

- Aerni, P. (2001) La Percepción Pública de la Biotecnología Agrícola en México. Centro para el Desarrollo Internacional de la Universidad de Harvard, Departamento de Sociología de la UAM, Cambiotec de la UNAM.
- Altieri M.A. and Rosset, P. (1999) Strengthening the case for why biotechnology will not help The developing world: a response to Mcgloughlin. *AgBioForum-Volume 2, Number 3 & 4*, 226-236.
- Bahena Juárez F. (2003) Control biológico de las plagas del Maíz en México: el caso del “gusano Cogollero” *Spodoptera frugiperda* (j. E. Smith) (lepidoptera: noctuidae). *Impactos del Libre Comercio, Plaguicidas y Transgénicos en la Agricultura de América Latina*. México: RAPAM, 241.
- Benbrook, C. M. (2001) *The Farm-Level Economic Impacts of Bt Corn From 1996 through 2001: An Independent National Assessment*. Benbrook Consulting Services, Sandpoint Idaho. http://www.biotech-info.net/GMO_corn.pdf
- Benbrook, C. (2009) *Impacts of genetically engineered crops on pesticide use in the United States: The first thirteen years*. The Organic Center. www.organic-center.org
- Bota Arque, A. (2003) El impacto de la biotecnología en América Latina: espacios de participación social. *Acta bioethica, vol. 9, n. 1*, 21-38.
- Bravo, A. and Soberón, M. (2005) *Bacillus Thuringiensis: Mechanisms and use*. Citados por Díaz Camino, C. y Sánchez Rodríguez, F. (2007) Cultivos Transgénicos comerciales: Presente y Futuro. En *Biotecnología Agrícola en México: Oportunidades, retos y perspectivas*. Ed. José Luis Solleiro. Agrobio.
- Brookes, G. and Barfoot, P. (2006) Global Impact of Biotech Crops: Socio-Economic and Environmental Effects in the First Ten Years of Commercial Use. *AgBioForum, 9(3)*, 139-151.
- Cline, William R. (2007) *Global Warming in Agriculture*. Washington, D.C.: Center for Global Development and Peterson Institute for International Economics,
- Cunill, A.M. (2003) *La coexistencia entre el maíz transgénico y el maíz tradicional*http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Agri/Agri_2003_857_826_828.pdf
- Dafang, H. (2010) *China signals major shift into GM crops*.www.scidev.net/en/new/china-china-signal-major-shift-into-gm-crops.html Consultado el 15 de febrero del 2010.

- Day-Rubenstein, K., Heisey, P., Shoemaker, R., Sullivan, J. and Frisvold, G. (2005) Crop Genetic Resources: An Economic Appraisal. *Economic Information Bulletin Number 2*, USDA.
- Denlinger, D.L., Yocum, G.D., Rinehart, J.P. (2004) Hormonal control of diapause. In: Gilbert, L.I., Iatrou, K., Gill, S.S., editors. *Comprehensive Molecular Insect Science*. Amsterdam: Elsevier. Vol. 7, p. 615-650
- Diario Oficial de la Federación (2007) *Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas*. Abril, 24 de 2007.
- Durán Ferman, P., Schwentesius Rindermann, R., Gómez Cruz, M.A. Trujillo, .de D. (2005). *Análisis de Tres Evaluaciones Oficiales de ASERCA del Programa de Pagos Directos (Procampo) a la Agricultura Mexicana*. www.imagenagropecuaria.com/enviar.php?type=2&id...
- Evenson, R.E. and Lemarié, S. (1998) Crop Breeding Models and implications for valuing genetic resources. In: *Farmers, gene banks and crop breeding: Economic analyses of diversity in wheat, maize and rice*. Edited by Melinda Smale, Boston: Kluwer Academic Publishers.
- FIRA (2009) *El mercado de los fertilizantes en México: Situación actual y perspectivas*. México: Dirección Adjunta de Inteligencia Sectorial.
- Fox, J. and Haight, L. (2010) *Subsidizing inequality: Mexican corn policy since NAFTA*. U.C. Santa Cruz: Woodrow Wilson Center for Scholars. CIDE. 181.
- Galindo Luis Miguel, et. al. (2009) *La Economía del Cambio Climático en México*. Síntesis. México, Distrito Federal: Universidad Nacional Autónoma de México,
- Gurian-Sherman, D. (2009) *Failure to Yield: Evaluating the Performance of Genetically Engineered Crops*. Union of Concerned Scientists. UCS Publications, Two Brattle Square, Cambridge, Mass.
- Harwood, J., Day-Rubenstein, K.D. Dunahay, T., Heisey, P., Linwood, H., Klotz-Ingram, C., Lin, W., Mitchell, L. McBride, W. and Fernández-Cornejo, J. (2001) Economic Issues in Agricultural Biotechnology. Edited by Robin Shoemaker. *Economic Information Bulletin Number 762*, Economics Research Service, USDA.
- Heisey, Paul W. (2009) *Science, Technology, and Prospects for Growth in U.S. Corn Yields- Amber Waves*, Volume 7, Issue 4, December 2009. www.ers.usda.gov/amberwaves, Economic Research Service, USDA.
- Hillyer, G. (2005) *Seed Bank*. *Progressive Farmer*. <http://www.intellicoat.com/Prog.pdf> Consultado el 1 de Marzo del 2010.

- <http://contralinea.info/archivo-revista/index.php/2009/04/12/promaf-%E2%80%9Cregularidades%E2%80%9D-por-193-mdp/> Consultada el 20 de Octubre, 2010.
- International Survey of Herbicide Resistance Weeds (2009). Citado por Gurian-Sherman, D. Op. cit.
- James, C. (2006) *Situación global de los cultivos transgénicos/GM comercializados: 2006. Resumen Ejecutivo. BRIEF 35*. International Service for the Acquisition of Agri-Biotech Applications.
- James, C. (2009) *Biotech Crops Global Overview. Plant Biotech Meeting*. Madrid, Spain 5 March, 2009, International Service for the Acquisition of Agri-biotech Applications. www.isaaa.org
- Kato Yamakake, T. A. (2004) Variedades Transgénicas y el Maíz Nativo en México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo. Vol I, Número 2*, 101-109.
- López Pereira, M.A. and Morris, M.L. (1994) *Impacts of International Maize Breeding Research in The Developing World, 1966-1990*. México: Cimmyt.
- Manalo, A. J. and Ramon, G. P. (2007) The cost of Product Development of Bt Corn Event Mon810 in the Philippines. *AgBioforum*, 10 (1): 19-32.
- Marra, M.C., Pardey, P.G. and Alston, M.J. (2002) The payoffs to Transgenic field crops. An Assessment of the evidence. *AgBioforum*, 5(2), 43-50.
- Marra, M., Pannell D.J., Abadi Ghadim A. (2003) The economics of risk, uncertainty and learning in the adoption of new agricultural technologies: Where are we on the learning curve?. *Agricultural Systems*, 75(2/3), 215-234.
- Massieu Trigo, T., Chauvet, M., Castañeda Zavala, Y., González Aguirre, R.L. y Barajas Ochoa, R.E. (2000) Consecuencias de la Biotecnología en México: El caso de los cultivos transgénicos. *Sociológica, Año 15, Número 44*, 133-159.
- Martínez Gómez F. and Torres R. (2001) Hegemony, commodification and the State: Mexico's shifting discourse on agricultural germplasm. *Agriculture and Human Values*, 18, 285-294.
- Mercer, K.L. Perlaes H.R. and Wainwright J.D. (2011) Climate Change and the transgenic adaptation strategy: smallholder livelihoods, climate justice, and maize landraces in Mexico. *Global environmental change*, 22, 495-504.

- Morris, M. and Heisy, P.W. (1998) Achieving desirable levels of crop diversity in farmer fields: Factors affecting the production and use of commercial seeds. In: *Farmers, genebanks and crop breeding: Economic analyses of diversity in wheat, maize and rice*. Edited by Melinda Smale. Boston: Kluwer Academic Publishers.
- Moss, L. D. (2009) *Transgenic seed platforms: Competition between a Rock and Hard Place?*. United States The American Antitrust Institute,.
- Nadal, A. (2000) Mexican Corn: Genetic Variability and Trade Liberalization. Programa Sobre Ciencia, Tecnología y Desarrollo, Documento de Trabajo No. 1-06, Colegio de México.
- NASS (2010) *Adoption of genetically engineered crops in the U.S.; Corn varieties*. National Agricultural Statistical Service, USDA.
- OECD (2005) *The Bioeconomy to 2030: Designing A Policy Agenda*. Scoping Paper, 2 November , 2005.
- Onstad, D.W.; Gould, F. (1998). Modeling the Dynamics of Adaptation to Transgenic Maize by European Corn Borer (Lepidoptera: Pyralidae). *J. of Economic Entomology*, Volume 91, Number 3, 585-593.
- Payne, J., Fernández-Cornejo J. and Daberkow, S. (2003) Factors affecting the likelihood of corn rootworm Bt seed adoption. *AgBioforum*, 6 (1&2), 79-86.
- Perales, H., Brush, S.B. and Qualset, C.O. (1998) Agronomic and Economic competitiveness of maize landraces and in situ conservation in Mexico. In: *Farmers, genebanks and crop breeding: Economic analyses of diversity in wheat, maize and rice*. Edited by Melinda Smale, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Polanco, Jaime A. (1990) The Technology Innovation Process in Mexican Agriculture. Ithaca, New York: Cornell University Dissertation.
- Polanco Jaime, J.A., Flores Méndez, T. (2008) *Bases para una política de I&D e innovación de la cadena de valor del maíz*. México: Foro Consultivo Científico Tecnológico.
- Polanco Jaime, A. y Puente González, A. (2012) *Investigación y transferencia tecnológica determinantes críticos de la productividad y competitividad del maíz*. México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados, En prensa.
- Puente González, A. (2007) *Indicadores Económicos de Seguridad y Soberanía Alimentaria, Actividad Productiva y Paridad Urbana-Rural*. México: Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria, Cámara de Diputados.

- Puente González, A. (2010) *Análisis Comparativo de Productividad y Rentabilidad de la Producción de Maíz en México y en los Estados Unidos*. Documento preparado para el Consejo Nacional de Productores, Agosto.
- Puente González, A. (2010) *Estudio Comparativo de la Producción de Maíz en México y en Estados Unidos*. Documento preparado para el Consejo Nacional de Productores, Agosto 2010.
- Reta Sánchez D.G., Gaytán Moscorro, A. y Carrillo Amaya J.S. (2003) Rendimiento y componentes de rendimiento de maíz en respuesta a arreglos topológicos. México. *Revista de Fitotecnia*, Vol. 26 (2), 75-80.
- Rosendal G. Kristin (2005) Governing GMOs in the EU: A Deviant Case of Environmental Policy-making? *Global Environmental Politics*, Vol. 5, No. 1, 82-104.
- Serratos, J. A., A. López H., y G. Carrillo C. (eds). (2000) *Taller de maíz transgénico. Memoria* NAPPO, DGSV, CNBA. Cd. de México, 13-16 de octubre de 1997. 120 p.
- Serratos, A., Wilcox, M. y Castillo, F. (1996) *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. Memoria del foro : flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle : implicaciones para el maíz transgénicos*. Serratos, J.A.; Willcox, M.C.; Castillo, F. (Eds.). 21-25 Sep 1995, INIFAP, CIMMYT, CNBA. 1996. 138
- Schimmelpfennig, D.E., Pray, C.E. and Brennan, M.F. (2004). The impact of seed industry concentration on innovation: a study of biotech market leaders. *Agricultural Economics*, 30, 157-167.
- Schubert D. (2002) A different perspective on GM food. *Nature Biotechnology*, October 20, Vol. 20. 969.
- Skogstad G. (2003) Legitimacy and/or policy effectiveness?: network governance and GMO regulation in the European Union. *Journal of European Public Policy*, Volume 10, Number 3, June, 321-338(18).
- Smale, M., Bellon, M.R. and Pingali, P.L. (1998) Farmers, genebanks and crop breeding: Introduction and overview. pp.3-17. In: *Farmers, genebanks and crop breeding: Economic Analyses of diversity in wheat, maize and rice*. Edited by Melinda Smale, Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Schmid, A. A. (1987) *Property, Power and Public Choice*. Praeger, New York. Citado por Morris, M. and Heisy, P.W. (1998)
- Smale, M., Zambrano, P., Falck-Zepeda, J. and Gruère, G.(2006) *Parables: Applied economics literature about the impact of genetically engineered crop*

- varieties in developing economies. EPT. Discussion Paper 158, International Food Research Policy Institute.*
- Storer, N.P. Peck, S.L. Gould, F. Van Duyn, J.W. and Kennedy, G.G. (2003) Corn and Cotton in a Mixed Agroecosystem: a Biology-rich Stochastic Simulation Model. *Journal of Economic Entomology* 96(1):156-172.
- Tatum, L. A. (1971) The Southern Corn Leaf Blight Epidemic. *Science*, Vol. 171. no. 3976, pp. 1113-1116.
- Turrent A. y Espinosa, A. (2013) *Comunicación personal.*
- Union of concerned scientists (2012) *High and dry: why genetic engineering is not solving agriculture 's drought problem in the third world.* Executive summary, 2012.
- Valetta, M. (2009) *Evaluation of the EU legislative framework on GM food and feed. Health and consumer Directorate General. European Comission.*
- Visser B. (1998) Effects of Biotechnology on Agro-biodiversity. *Biotechnology and Development Monitor, No. 35, 2-7.* www.biotechg-monitor.nl/3502.htm Consultada el 6 de marzo 2010.
- Watanabe K. N., Sassa, Y., Suda, E., Chen C., Inaba, M. and Kikuchi, A. (2005) Global, Political, Economic, Social and Technological Issues on Transgénic Crops. *Plant Biotechnology*, 22, 515-522.
- www.extension.iastate.edu/agdm Sitio Consultado el 22, de febrero del 2010
- www.imagenagropecuaria.com/articulos.php?id_art=406&id_sec=25 Liga Consultada el 1 de Marzo del 2010.
- www.nature.com/nbt/index.html Consultada el 1 de Marzo del 2010.



CAPÍTULO 7

EL MAÍZ: SU IMPORTANCIA EN LA ALIMENTACIÓN DE LA POBLACIÓN MEXICANA



Héctor Bourges R.

Por su producción y consumo, el maíz es hoy en día uno de los principales alimentos de la humanidad. Además de ello, para la población mexicana tiene un significado alimentario, histórico y cultural muy especial que se examina más adelante.

Antes de entrar en materia, conviene aclarar algunos conceptos pertinentes para dicho análisis cuyas interrelaciones se ilustran en la figura 1.

Algunos conceptos y términos

Todos los seres vivos necesitan un conjunto de sustancias indispensables para su metabolismo que obtienen del medio y que se conocen como *nutrimentos*. El conjunto de los procesos involucrados en la obtención, asimilación y metabolismo de los nutrimentos constituye la *nutrición*. Como todas las especies heterótrofas, el ser humano obtiene los nutrimentos mediante la ingestión de una variedad de tejidos, órganos o secreciones de organismos vegetales y animales que contienen dichas sustancias y a los que se les da el nombre de *alimentos* (Bourges 2008).

Durante la mayor parte de su “historia”, el ser humano utilizó una gran variedad de alimentos ingiriéndolos uno a uno y en el estado natural en que los encontraba, pero a raíz del desarrollo de las primeras herramientas y sobre todo del dominio del fuego hace aproximadamen-

- 1) La alimentación brinda al organismo los nutrimentos que necesita, así como una serie de satisfacciones intelectuales, emocionales, estéticas y socioculturales que son indispensables para la vida humana plena (Bourges 2008). Se debe por ello tener presente que la alimentación y la nutrición son procesos indisolublemente biopsicosociales
- 2) Lo que cada cual come y cuánto come es el resultado de un gran número de factores. Intervienen por supuesto los mecanismos biológicos que se basan en las sensaciones de hambre y saciedad, pero resaltan muchos otros factores de tipo psico emocional y sociocultural. Así, influyen en forma notable el apetito o “antojo” (que es un deseo muy definido, de naturaleza psicológica, de comer determinado(s) alimento(s) o preparaciones aun sin tener hambre), los recuerdos y estados de ánimo, los gustos y preferencias, los valores, actitudes y temores, las tradiciones y creencias, los hábitos, las costumbres y los caprichos, las emociones, las modas, los mitos y prejuicios, los conocimientos y los factores que determinan la disponibilidad y el acceso a los alimentos.
- 3) Cada uno de los alimentos primarios, los platillos y los productos industrializados representan sólo una opción entre muchas posibles. En consecuencia, ninguno de ellos es indispensable para la vida, todos son sustituibles.
- 4) La “unidad de la alimentación y la nutrición” es la dieta y no lo son los alimentos, ni los platillos ni los productos industrializados ya que por si solos no determinan la nutrición, sino que lo hacen en conjunto (Bourges, 1985).
- 5) Para que un alimento se considere como tal no es suficiente que sea fuente de nutrimentos. Además de ello debe:
 - a) Ser inocuo en la forma habitual en que se ingiere.
 - b) Estar disponible y ser accesible
 - c) Ser atractivo a los órganos de los sentidos
 - d) Haber sido seleccionado como alimento por alguna cultura

El maíz llena plenamente las características antes señaladas de inocuidad, accesibilidad, atractivo sensorial y valor cultural de un alimento.

De la planta del maíz se utilizan con propósito alimentario varias partes, en especial las semillas tanto las maduras (listas para germinar)

como las inmaduras (elote) (Bourges, 2008). Aunque se trata de un organismo aparte, por su importancia culinaria es imposible dejar de mencionar al *cuillacoche*, hongo parasitario que crece en la mazorca.

Las semillas maduras como alimentos

Las semillas maduras de ciertas plantas son un componente relativamente reciente, pero cuantitativamente muy importante, de la alimentación humana. Como la función natural de las semillas es almacenar sustancias para alimentar al germen, contienen fuentes de muchos nutrimentos que el ser humano puede aprovechar. Sin embargo, en su estado natural, suelen ser poco digeribles y poco apetecibles debido a su dureza y sabor desagradable. La cocción las ablanda y les da mayor digestibilidad y mejor sabor por lo que a raíz del dominio del fuego, fue posible incorporarlas gradualmente en la dieta humana.

Con el advenimiento de la agricultura hace aproximadamente diez mil años, las semillas maduras adquirieron enorme importancia como alimentos y, en especial las de algunas gramíneas, sustituyeron parcialmente a los tejidos vegetales frescos como centro de la dieta. Este cambio se tradujo en modificaciones en la alimentación humana que no procede analizar aquí, pero que fueron radicales.

Las principales gramíneas usadas en la alimentación humana son el maíz, el trigo, el arroz, el sorgo, el mijo, la avena, el centeno y la cebada. Las tres primeras representan alrededor de la mitad de la alimentación humana y son la base de la dieta de las grandes culturas del mundo antiguo y del actual. Es tan grande su consumo que en la práctica son la principal fuente de energía (la mitad o más), proteínas, fibra, hierro y de la mayoría de los nutrimentos. Como estas tres especies representan el centro de la agricultura mundial se les llama “cereales” en alusión a *Ceres* la diosa griega de la agricultura (Bourges, 2008) El valor cultural de los cereales es enorme, al grado de que suelen ser objeto de veneración y adoración.

En la actualidad las semillas no se comen en forma directa, tienen que haber sido cocidas y después convertidas en platillos o derivados industrializados. Aunque se utilizan semillas maduras de varias familias botánicas, destacan las de las gramíneas ya mencionadas y las de algunas leguminosas.

Muchos de los cultivos actuales son modificaciones genéticas de las especies precursoras originales que, mediante cruza, los agricultores lograron transformar empíricamente a lo largo de milenios. Gracias a este logro surgieron las grandes culturas de la antigüedad y por ello y por su elevada eficiencia para aportar sustento como fuentes concentradas de energía, muchos cereales tienen la categoría de alimentos básicos (De Garíne *et al.*, 1997) (ver más adelante).

Un concepto erróneo entre algunos sectores de la población es que los cereales son “alimentos incompletos” “desequilibrados”, que “sólo engordan a la gente” y que necesitan ser “enriquecidos” o “completados”. Esta noción carece de sentido; no existe ningún alimento completo ni equilibrado, ni es necesario (ni conveniente) que lo sean porque éstas son características que debe cumplir la dieta y no cada uno de sus componentes. Una de las reglas fundamentales para alimentarse bien es que los alimentos se combinen y varíen, de manera que así se logra una dieta completa, equilibrada y variada. Por otra parte, resulta absurdo considerar “pobres” a los alimentos que durante milenios y resistiendo con éxito la inclemente “prueba del tiempo”, han sido básicos y se les considera casi divinos y que además son los que más aportan a la dieta y los que lo hacen con un costo menor

El maíz como alimento

El maíz (*Tlaolli*; a veces se hacía referencia a él como *tonacayo*: nuestro sustento) (León-Portilla, 1980) se desarrolló hace siete u ocho mil años en Mesoamérica —de manera notable en el sur de lo que hoy es el estado de Puebla y en el norte del de Oaxaca y Guerrero—, a partir muy probablemente de un pasto silvestre el *teocintle* (Beadle, 1982; Goodman 1998) y es una de las más sobresalientes transformaciones logradas en el campo agrícola. Su logro hizo posible el desarrollo de las grandes culturas del continente y el maíz se convirtió en el alimento principal, en Mesoamérica primero y en la Nueva España y México independiente después (Coen, 1990); existen en la actualidad 62 variedades criollas de maíz para muy diferentes propósitos (para hacer tortillas, para pozole, para “palomitas”, etc) y muy diferentes climas, suelos y regímenes pluviales. Por todo lo anterior nuestro país es considerado lugar de origen y centro de biodiversidad del maíz.

Si bien en México las semillas maduras de maíz se han comido y aún se comen en diferentes formas, por mucho la principal es como tortillas y otros derivados del *nixtamal* que es el resultado de la cocción alcalina y molienda de las semillas de maíz. La palabra *nixtamal* proviene del náhuatl *nextli*, cenizas de cal, y *tamalli*, masa de maíz cocido. Cabe anotar que el uso de la cal (*tenéxtli*) lo mismo que el del tequezquite (*tequíxquiltl*) fueron rasgos distintivos de la cocina de Mesoamérica que sobreviven en nuestros días. A grandes rasgos, las semillas de maíz ya limpias se cuecen en agua con hidróxido de calcio al 25% durante unas 2 horas, se dejan reposar en agua caliente durante la noche para que revienten y se separe la cáscara y, al día siguiente, se lavan y se muelen (la molienda tradicional en metate casi ha desaparecido) para obtener la masa de la que se hacen las tortillas las cuales se cuecen en comal (preferentemente de barro). El desarrollo del *nixtamal* ocurrió hace aproximadamente 3000 años y es una de las grandes contribuciones alimentarias de Mesoamérica al mundo.

La *nixtamalización* tiene numerosas ventajas sobre el uso directo de las semillas del maíz. Por una parte, mejora las características sensoriales del maíz y hace maleable la masa, requisito indispensable para la preparación de tortillas —que simultáneamente son plato, envoltura, cuchara y comida— y para que éstas puedan doblarse sin romperse (“correa”). Por otra parte, si bien durante el lavado del *nixtamal* o en la cocción de la tortilla disminuyen ligeramente el contenido de almidón (Gómez *et al.*, 1992) y de algunas vitaminas presentes en el maíz crudo (40% del ácido fólico, 50% niacina y 43% riboflavina), se producen cambios químicos y fisicoquímicos muy convenientes:

- 1) Se eleva el contenido de calcio (Urizar *et al.*, 1997), de hierro ionizable, de fibras solubles y de almidón resistente.** Las semillas de las gramíneas, entre ellas las de maíz, contienen más fósforo que calcio, lo que puede interferir con la absorción intestinal de este último. Sin embargo, el aumento en hasta 4 o 5 veces en el contenido de calcio de *nixtamal* (que llega hasta 100 mg/100 g de *nixtamal*) y su mejor absorción (Urizar *et al.*, 1997), convierte a las tortillas en excelentes fuentes de calcio, la principal en la dieta de la mayoría de la población mexicana que, por ello, suele tener una ingestión apreciable de calcio. El maíz no es fuente importante de fibras solubles y su almidón, una vez cocido, es de fácil digestión (Bourges, 2008). El aumento de

la fibra soluble y de almidón resistente a la digestión reduce el índice glicémico lo que es ventajoso especialmente en personas con intolerancia a la glucosa.

- 2) **Se reduce el contenido de ácido fítico** (Urizar *et al.*, 1997), sustancia que secuestra nutrimentos inorgánicos como el calcio y el hierro y reduce su absorción intestinal. El maíz, como otras gramíneas es fuente mediana de hierro, pero además la presencia de ácido fítico que lo secuestra hace que no esté biodisponible y que su absorción intestinal sea muy baja. La nixtamalización eleva el hierro ionizable en un 52 a 77% y reduce el ácido fítico (Urizar *et al.*, 1997), hasta en 35% según el tiempo de cocción y la cantidad de cal empleada, por lo que con ello mejora la absorción de hierro y además la de calcio. El aumento de calcio ya mencionado es tan alto que satura al fitato y éste tiene menor capacidad de secuestrar el hierro
- 3) **Se mejora la biodisponibilidad de algunos aminoácidos** (lisina, triptofano e isoleucina) (Trejo *et al.*, 1982) El aumento en 2.8 veces de la biodisponibilidad de la lisina, de 1.8 veces en la del triptofano y en la de la isoleucina, cuya relación con la leucina casi se duplica, se debe a que aumenta la solubilidad de la glutelina y disminuye la de la zeína. Estos cambios se traducen en mejor asimilación de la proteína del maíz (Trejo *et al.*, 1982).
- 4) **Se hace disponible la niacina** que en el grano sin nixtamalizar no lo está y, por ello, no se puede absorber. Gracias a esto, la *pelagra* —cuadro de deficiencia de esta vitamina que se veía en poblaciones cuya dieta se basaba en maíz sin nixtamalizar— no ha sido común en Mesoamérica. (Bourges, 1984).
- 5) **Se reduce el contenido de micotoxinas** (aflatoxinas y fumonisinas B) (Abbas *et al.*, 1988; Mendez-Albores *et al.*, 2003). Las aflatoxinas son producidas por infestación del grano con el hongo *Aspergillus flavus* y las fumonisinas B por hongos del género *Fusarium*. Las aflatoxinas se consideran cancerígenas para el ser humano y, aunque en el caso de las fumonisinas B sólo se ha constatado efecto cancerígeno en animales de experimentación, se les considera como un problema potencial de salud pública. La nixtamalización reduce hasta en un 80% el contenido de fumonisinas que se quedan disueltas en el *nejayote* (agua con cal, residuo de la nixtamalización) (Abbas *et al.*, 1988; Mendez-Albores *et al.*, 2003).

Ser convertido en nixtamal da al maíz su uso pleno ya que, además de la tortilla, es materia prima de cientos de preparaciones. Las ventajas antes descritas del proceso de nixtamalización seguramente contribuyeron en forma importante a impulsar el desarrollo de las grandes culturas mesoamericanas. El proceso y su resultado llegan a tal calidad y exigen tanto control, que es difícil suponer que su descubrimiento haya sido una casualidad. Por supuesto, la práctica de la nixtamalización se debe conservar y hasta fomentar.

A mediados del siglo XX comenzó a tener auge la producción industrial —y la venta— de harina de maíz nixtamalizado que en la actualidad representa alrededor del 30% del consumo humano directo de maíz; las tortillas preparadas con esta harina no suelen tener la misma calidad sensorial y a veces contienen menos calcio y niacina que las preparadas con nixtamal de la manera tradicional, pero ha simplificado el comercio.

Los procesos de “globalización” (mundialización) y de urbanización acelerada en las últimas décadas, han alterado las costumbres alimentarias de la población y modificado su “estilo de vida”, por lo que cabe esperar cierta disminución del consumo per capita de tortilla de nixtamal y mayor empleo de la harina.

Por otra parte, se debe admitir que una buena tortilla requeriría maíz blanco nixtamalero, fabricación tradicional del nixtamal y cocción de la tortilla en comal apenas poco antes de su ingestión. Esta secuencia, tradicional en nuestro país durante siglos, se ha vuelto muy costosa en el medio urbano y por desgracia, debido a la noción de que es y “debe ser” barata, pocos están dispuestos a cubrir el costo

Producción, disponibilidad y consumo

El de maíz es el cultivo más emblemático del país y está identificado con la biodiversidad nacional, toda vez que representa a los muchos alimentos cultivados en la milpa, es la base de la economía rural y de la nutrición familiar y además es fuente de materias primas básicas para la industria.

México es el cuarto mayor productor de maíz del mundo y en nuestro país el maíz es el principal cultivo, que ocupa 8.5 millones de hectáreas y al que se dedican el 80% de los productores agrícolas del país (4 millones). De acuerdo con SAGARPA, la producción anual en 2006 fue

de 20.6 millones de toneladas métricas (tm), ascendió a 23.7 millones de tm en 2007 y para 2008 se estimó entre 22.5 y 24 millones de tm. En 2011, debido a la sequía que afectó al país y que afectó a varios cultivos, la producción de maíz se redujo a alrededor de 19.2 millones de tm. Alrededor de 4/5 partes corresponde a maíz blanco, en el que predominan las variedades apropiadas para la nixtamalización y el resto a maíz amarillo que tiene uso forrajero e industrial. El 44% de la producción proviene del 7% de los productores, que están tecnificados, y el 56% restante del 93% de productores que pertenecen al sector campesino. A la producción nacional se agrega la importación anual de entre 6 y 8 millones (2007) de tm de maíz amarillo lo que genera una disponibilidad teórica de entre 25 y 30 millones de tm según el año.

El consumo humano directo de maíz es de poco más de 12 millones de tm por año (que corresponde a unos 300 g diarios per capita en zonas rurales y unos 180 g diarios por persona en las urbanas), frente a 5 o 6 millones de tm de trigo y unas 600 mil tm de arroz. Por la cantidad que se consume para la alimentación humana, el maíz es en México la principal fuente de energía, proteínas, almidones, fibra, hierro y varias vitaminas en la dieta media aparente.

De acuerdo con las cifras anteriores es claro que el país es más que autosuficiente en maíz para consumo humano (blanco) por lo que los “brotos” de escasez de principios del 2008 y del 2009 tendrían que explicarse por movimientos especulativos; en este sentido cabe insistir en la necesidad de que el Estado mexicano cuente, como ocurría antaño, con reservas estratégicas del grano para evitar o paliar esos “brotos”. También es claro que hay un considerable uso para fines industriales (almidones, aceite, jarabes), pecuarios y tal vez para fabricación de biocombustibles. Los dos últimos usos son termodinámicamente muy ineficientes y adversos al ambiente por lo que deberían controlarse.

Cuatro lustros atrás se adoptó el compromiso (que parece insensato porque los alimentos básicos no son negociables; por lo contrario, se les debe proteger a toda costa) dentro del TLCAN de liberar en el 2009 la importación de maíz. Esto puede alterar la estructura descrita debido a la competencia económica desigual que ofrece una agricultura muy subsidiada como la de los Estados Unidos a una agricultura poco incentivada como la mexicana. ¿Habrà mayor migración del campo al medio urbano y otros países? ¿Qué será de las prácticas agrícolas “primitivas” que han generado la amplia biodiversidad del maíz en México? ¿Tomará precedencia la producción de las variedades pecuarias e

industriales sobre las nixtamaleras? ¿Qué efectos tendrá todo ello sobre la dieta nacional?

En vista de las cifras de producción y consumo humano de maíz, el argumento de que es urgente el uso de variedades modificadas por ingeniería genética (OGM) debido a producción insuficiente de maíz no parece sostenible. Aunque el tema es muy amplio y complejo y no cabe discutirlo aquí, el asunto de los OGM amerita decisiones delicadas que se deben tomar caso por caso, especie por especie y modificación por modificación, ya que conlleva riesgos ecológicos, culturales, económicos y políticos. La reciente tendencia a usar la planta del maíz como “biofábrica” de sustancias no comestibles representa un serio riesgo potencial para nuestro país debido al cuidado insuficiente que han mostrado las empresas productoras para evitar que el polen de estos OGM se libere al medio y contamine los cultivos alimentarios.

Valor alimentario del maíz

Por definición, todo alimento tiene “valor” para la alimentación pero como ya se indicó, la alimentación —y los alimentos, platillos y productos— brindan al organismo mucho más que nutrimentos; también brindan satisfacciones intelectuales, emocionales, estéticas y socio-culturales que son indispensables para la vida humana plena y que por lo tanto deben destacarse. Este valor alimentario o nutritivo de un alimento no es cuantificable *a priori* y consta de tres componentes inseparables:

- a) su valor *sensorial y emocional*
- b) su valor *sociocultural* y
- c) su valor *nutrimental* (aporte de nutrimentos).

Los dos primeros valores se refieren al lugar que el alimento en cuestión ocupa históricamente en el aprecio de una cultura por su congruencia con los gustos, las tradiciones y los recursos naturales de cada localidad y por su capacidad de satisfacer necesidades rituales. Tienen naturaleza subjetiva y su expresión es cualitativa, no cuantitativa (Bourges, 2008).

Antes de abordar estos tres valores en el caso del maíz conviene tratar el **concepto de alimento básico** desarrollado por De Garine y

Vargas (De Garine *et al*, 1997). Estos autores han propuesto clasificar los alimentos por el lugar que ocupan en la cultura alimentaria de cada grupo humano en: *básicos*, *primarios*, *secundarios* y *periféricos*. Se considera *alimento básico* al que claramente sobresale en la dieta diaria de determinado grupo humano y se caracteriza porque:

- A) Está presente todos o casi todos los días en la alimentación de la gran mayoría de la población
- B) Aporta una proporción significativa de la ingestión total de energía
- C) Suele haber sido domesticado localmente por lo que la especie está bien adaptada a diferentes climas y suelos, ser resistente a infecciones y parásitos y requerir la intervención humana para su reproducción
- D) Se le emplea en forma integral con poco o nulo desperdicio
- E) Tiene numerosos usos alimentarios así como un papel ritual artístico y artesanal central, preparaciones, platillos y bebidas
- F) Se le atribuye origen divino y por lo tanto se le considera sagrado
- G) La liga emocional y afectiva del alimento básico con la población es tan cercana que ésta no tolera su falta o escasez que, de ocurrir, genera gran angustia e inquietud social

Los alimentos *primarios* son los que han evolucionado biológica y culturalmente en paralelo con el alimento básico, al que acompañan en muchos platillos y al que a menudo complementan; es el caso en México del frijol, el jitomate y la calabaza. La pareja maíz frijol es una combinación excepcional lo mismo en el surco, que en la mesa y en el organismo ya que se complementan en forma admirable en los tres aspectos. Los alimentos *secundarios*, como son muchas verduras y frutas tienen carácter estacional, se consumen en menor cantidad y si bien su falta se considera lamentable, no genera mayor inquietud. Por último, los alimentos *periféricos* (por ejemplo productos de la caza y las verduras y frutas exóticas) tienen consumo esporádico, están disponibles solamente durante periodos cortos y a menudo vienen de fuera; por su escasez son costosos, pero su prestigio social es elevado y pueden ser fuentes de innovación culinaria. (De Garine *et al*, 1997).

Valor sensorial y emocional del maíz

Las semillas de cereales, entre ellas las de maíz, son sensorialmente muy atractivas y se les ingiere en cientos o miles de diferentes formas, algunas de ellas típicamente mexicanas. Estas semillas y sus derivados suelen producir poco hastío, de manera que se les puede ingerir cotidianamente en cantidades importantes, sin que causen rechazo. Ello, aunado a su amplia disponibilidad, bajo precio e inocuidad, las sitúa como alimentos *básicos*. (De Garine *et al*, 1997).

Valor sociocultural del maíz

El papel cultural de los alimentos difiere en distintos grupos humanos ya que cada grupo les atribuye diversos valores rituales y de prestigio y, por lo tanto, ocupan en la dieta una proporción distinta. Se indicó ya que debido a su elevada eficiencia para aportar sustento como fuentes concentradas de energía, para la mayoría de las culturas clásicas el alimento básico es un cereal

En México, este lugar lo ocupa claramente el maíz porque:

- a) Está presente en la alimentación todos los días, hasta varias veces al día y en la dieta aparente promedio aporta por sí solo 40% o más de la energía total y es la principal fuente de proteínas, fibra, calcio, hierro y varias vitaminas.
- b) Se domesticó en Mesoamérica
- c) Se emplea la planta en forma integral como alimento y para otros usos (combustible, pienso, medicina, artesanías, bebidas fermentadas, envoltura)
- d) Es base de cientos de preparaciones distintas La creatividad culinaria mesoamericana produjo una enorme variedad de preparaciones platillos y bebidas Algunos recuentos señalan más de 600 recetas diferentes y mas de 120 métodos de cocción (Perez-San Vicente, 2000; Museo de culturas populares, 1982).
- e) Se le atribuye origen divino En el caso de México, la mitología precolombina abunda en relatos que se refieren al maíz como regalo de los dioses o bien como un tesoro que el ser humano tuvo que robarles (García, 1991). La leyenda de los soles (León-Portilla, 1980) indica que los dioses guardaban el maíz sólo para ellos escondido en el “monte de los sustentos”; a pesar de

numerosos intentos, los seres humanos no lograban tener acceso a él, hasta que una hormiga pudo finalmente entrar en la montaña y robarlo para la humanidad. El maíz fue deificado por los aztecas en *Centeotl* y por los mayas en *Jun Ye Nal* (Navarrete, 2002). El papel ritual del maíz y su presencia en una variedad de artesanías son evidentes.

- f) Es uno de los varios “obsequios” alimentarios que México dio al mundo (Bourges, 2002).
- g) Durante milenios, el maíz ha mantenido una relación bidireccional y muy cercana con el mexicano. Los mayas se consideraban a si mismos como “hombres de maíz” y para los aztecas la condición humana era inseparable de su consumo. Esta relación se remonta 5000 años cuando se terminó su domesticación aunque los esfuerzos para hibridarlo datan de hace 9 000 años. No sorprende por ello, que esta planta tenga tanta plasticidad para su cultivo en diferentes suelos, climas, altitudes y precipitación pluvial y que haya variedades para muy diferentes propósitos y condiciones ambientales
- h) En la historia de México la escasez o la falta total de maíz han conducido a inestabilidad social

Además de lo ya señalado, en México el maíz —y con él sus derivados— es uno de los alimentos con mayor “eficiencia económica” es decir que más sustancias nutritivas aportan por un precio determinado. Así, por ejemplo, como fuentes de energía y en comparación con la tortilla de nixtamal, el azúcar y el arroz son 1.6 veces más costosos, el pan blanco y la pasta son tres veces más caros, el pan de caja 4 veces, las hojuelas de maíz 6 veces y los alimentos de origen animal 6 a 10 veces más caros. Como fuentes de proteína el arroz, el huevo, el pan y la pasta resultan 2 veces más caros que la tortilla, la leche 3 veces, el pan de caja 4 veces, la salchichas 4 veces y las hojuelas 8 veces (Bourges, 2008).

Valor nutrimental de las semillas maduras de maíz

El aporte de nutrimentos de un alimento determinado es el resultado de su composición nutrimental —que sí es una característica del alimento en cuestión— y de la cantidad consumida que es una circunstancia ajena a él que se conoce sólo *a posteriori* y es difícil de predecir.

Por cuanto a la composición de las semillas de maíz, existen numerosos análisis de diferentes variedades y orígenes de las semillas —cuya composición nutrimental tiene algunas diferencias— (Morales *et al.*, 2000) que se resumen en el cuadro 1 en el que, además, se comparan con los valores promedio para la masa de nixtamal y las tortillas.

Se observa que las semillas maduras de maíz contienen poca humedad lo que facilita su conservación. Como sería de esperar, el contenido de agua del nixtamal es mucho mayor y se reduce un poco en las tortillas debido al calentamiento. Estas diferencias se reflejan en el resto de los componentes cuyo contenido es inversamente proporcional al de la humedad. Como la tortilla es la forma predominante de consumo final del maíz conviene concentrarse en ella.

Cabe destacar que la tortilla es una preparación con densidad energética intermedia (212 a 221 kcal/100g), que por 100g contiene 70 a 80g de hidratos de carbono (fundamentalmente almidón), poco más de 1.0 g de aceite y 5g de proteínas; si bien el contenido de fibra bruta en

Cuadro 1. Composición promedio de semillas maduras de maíz blanco, masa de nixtamal y tortillas (por 100g)

	Maíz blanco	Masa de Nixtamal	Tortilla
Humedad (g)	11.4	56.8	42.8
Energía (kJ / kcal)	1620 / 388	750 / 178	890 a 920 / 212 a 321
Hidratos de carbono (g)	72	30.7 a 36.4	46.3
Lípidos (g)	4.4 a 5.0	2.0 a 3.7	1.2 a 2.3
Proteína (g)	8.2 a 1.0	3.6 a 4.6	5.2
Fibra bruta (g)	1.46 a 2.00	3.4	1.5
Cenizas (g)	1.4	0.6	0.9 a 1.3
Calcio (mg)	11 a 22	51.9	177
Fosfatos (mg)	253 a 261	326	150
Hierro (mg)	1.8 a 2.8	2.2	1.4
Tiamina (mg)	0.45	0.30	0.15 a 0.20
Riboflavina (mg)	0.11	0.05	0.04 a 0.08
Niacina (mg)	1.8 a 2.7	1.2 a 1.9	1.0

la tortilla no es muy grande, la medición de polisacáridos no amiláceos —concepto más apropiado que el de fibra bruta— alcanza 4.3 g/100g, la mayor parte insolubles, cantidad que es apreciable.

Aunque no figura en el cuadro, cabe anotar también que la tortilla es pobre en sodio (11 mg/100g), contiene abundante potasio (192mg/100g) y aporta 65 mg de magnesio/100g

Gracias a la nixtamalización la niacina se hace disponible y el contenido de calcio de la tortilla es 8 a 10 veces superior que el de las semillas y, como la cantidad de calcio supera a la de fosfatos (150mg), su absorción es alta. Las tortillas tienen una concentración mediana de hierro y aunque en las semillas tiende a ser secuestrado por el ácido fítico, como ya se comentó la nixtamalización corrige en gran medida este problema

Hay variedades de maíz que contienen cantidades mayores de aceite, que es rico en ácidos grasos polinsaturados y vitamina E y que es muy apreciado por su sabor. Si bien la eficiencia de conversión de las proteínas del maíz es de ~50% cuando se ingieren solas, al combinarse con muchas otras proteínas en la dieta, que es lo habitual, su utilización metabólica aumenta en forma considerable y normalmente no constituye motivo de preocupación. La “refinación” (eliminación de la cáscara) de cereales como el trigo y el arroz, hace que se pierda la fibra insoluble; en México, el maíz que se usa para elaborar tortillas de nixtamal se descascara sólo en forma parcial por lo que los sectores de la población que consumen tortilla en abundancia, suelen ingerir suficiente fibra.

Dado que su ingestión en México alcanza 300 g en zonas rurales y unos 180 g en las urbanas, en la práctica la tortilla es en la dieta media nacional la principal fuente de energía (la mitad o más), proteínas, fibra, hierro y, en fin, de la mayoría de los nutrimentos.

La tortilla de maíz tiene una doble imagen; además de vérselo como elemento fundamental de la dieta de los mexicanos también y, debido a sus mismas características, se le ve como un “alimento para pobres” con la consecuente tendencia a evitar su uso o a sacrificar su calidad sensorial.

Epílogo

La revisión anterior pone de manifiesto la importancia del maíz en la alimentación de la población mexicana. Es sin discusión el alimento básico (tiene consumo universal y cotidiano o casi, representa una

fracción principal de la dieta habitual, ocupa un lugar privilegiado en el afecto colectivo e individual, produce poco hastío y la población se resiste a sustituirlo) de la mayoría de los mexicanos y por ello tiene enorme relevancia no sólo nutricia, agrícola y económica sino también culinaria, social y cultural. Consumido como tortilla de nixtamal, es la principal fuente de energía, proteínas, fibra y hierro y una de las principales fuentes de calcio y otros nutrimentos. A ello se agrega que la tortilla es pobre en sodio (nutrimento excesivo en la dieta moderna) y tiene una densidad energética mediana así como buena cantidad de fibra lo que favorece la medida en la ingestión de energía que hoy es particularmente urgente.

Se supondría entonces que la sociedad en su conjunto y, por su parte, cada uno de los distintos sectores relacionados con el complejo maíz/nixtamal/tortilla, están convencidos de su importancia y le brindan el apoyo prioritario que merece; sin embargo, no es así y aunque dicho “complejo” ha mostrado una singular capacidad de resistencia frente a las condiciones adversas, los vientos de este principio de siglo no parecen serle favorables. Toca a quienes están bien informados hacer todo lo posible para revertir la situación.

Referencias

- Beadle, G.W. (1982). El origen del maíz comprobado por el polen. *Cuadernos de Nutrición*, núm. 5, vol. 5-6, 20-24.
- Bourges, H. (1984). La pelagra y la niacina. *Cuadernos de Nutrición*, núm. 7, vol. 1, 3-10.
- Bourges, H. (1985). El significado de la dieta como unidad de la alimentación. En R. Ramos-Galvan (ed), *La nutrición normal en niños y adolescentes. Teoría y práctica*, 484-535, México, D.F.: El Manual Moderno.
- Bourges, H. (2002). Alimentos obsequio de México al mundo. En: Alarcón-Segovia, D. y H. Bourges (ed.). *La alimentación de los mexicanos*, 97-134, México DF: El Colegio Nacional.
- Bourges, R.H. (2008). Los alimentos, la dieta y la alimentación. En E. Casanueva, H.M. Kaufer, A.B. Pérez Lizaur, P. Arroyo (ed.), *Nutriología Médica*, 597-662, Editorial Médica Panamericana.
- Coen, A., (1990). Tocan “mi maíz”. En *Cuadernos de Nutrición*, núm. 13 vol. 2, 14-15.

- De Garine, I. Vargas, L.A., (1997). Introducción a la investigación antropológica sobre alimentación y nutrición. En *Cuadernos de Nutrición*, núm. 20 vol. 3, 21-28.
- García-Rivas, H., (1991). El sagrado maíz. *Cuadernos de Nutrición*, núm. 14 vol. 5, 44-48.
- Gómez, M.H., Lee, L.K., McDonough, C.M., Waniska, R.D. and Rooney, L.W. (1992). Corn starch changes during tortilla and tortilla chip processing. En *Cereal Chemistry* núm. 69, vol. 3, 275-279.
- Goodman, M.M. (1998). The history and evolution of maize. En *Critical Reviews in Plant Science*, núm. 7, 197-220.
- León-Portilla, M. (1980). La leyenda de los soles. En *Toltecatl: aspectos de la cultura nahuatl*, 166-179. México: Fondo de Cultura Económica.
- Morales, J.L., Babinsky, V., Bourges, H. (2000). *Tablas de Composición de Alimentos Mexicanos*, (ed). Morales de L. J, Babinsky V. Editorial INCMNSZ.
- Museo de culturas populares. (1982). *El maíz, fundamento de la cultura popular mexicana*.
- Navarrete, C.C. (2002). *Relatos mayas de tierras altas sobre el origen del maíz: los caminos de Paxil*, México D.F.: IAA-UNAM colección textos, serie antropología e historia antigua de México.
- Pérez-San Vicente, G. (2000). *Repertorio de tamales*. México: Culturas populares / CONACULTA Colección Cocina Indígena y Popular.
- Trejo, A., Fera, A. and Wild, C. (1982). The role of alkaline treatment of corn for tortilla preparation. En R.E. Feeney, and J.R. Whitaker (ed.), *Modification of Proteins. Advances in Chemistry Ser.*, 245-263, Am. Chem. Soc., Washington, D.C.
- Urizar, H.A. y Bressani, R. (1997). Efecto de la nixtamalización del maíz sobre el contenido de ácido fólico, calcio y hierro total y disponible. En *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, núm. 47, vol. 3, 217-23.



CAPÍTULO 8
BIOSEGURIDAD Y CONSERVACIÓN DEL MAÍZ NATIVO
EN MÉXICO¹



José Antonio Serratos Hernández y Alejandra Celeste Dolores Fuentes

Introducción

En años recientes se han publicado trabajos de investigación científica que presentan evidencias claras acerca de la dispersión de maíz transgénico en México, derivada de una política incongruente en materia de bioseguridad. En paralelo, se ha recuperado el estudio del maíz nativo y se ha renovado un gran interés por su conservación en diversos sectores de la sociedad civil, así como en las instituciones que tradicionalmente habían abordado estos temas y políticas públicas, como la Secretaría de Agricultura, las Universidades e Institutos de Investigación o la Secretaría de Medio Ambiente y sus dependencias. Esos procesos están concatenados y las repercusiones en el ámbito social, biológico, económico, cultural y político podrían ser de graves consecuencias si no se atienden de manera integral la protección y conservación del germoplasma por la importancia que en esas esferas tiene el maíz en México.

El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) son las instituciones que, desde la década de 1940, han mantenido la colecta, conservación y aprovechamiento del maíz nativo

¹ Este capítulo está basado en el artículo de Serratos, (2009b): *Bioseguridad y dispersión de maíz transgénico en México*, publicado por la revista *Ciencias* de la UNAM.

en México, además de la cooperación internacional para la conservación del germoplasma mundial de maíz. Estas actividades de conservación fueron prácticamente suspendidas desde finales de los setentas y hasta finales de los noventas del siglo pasado (CIMMYT, 1988; Conabio, 2011), sin embargo, mediante el Proyecto Global de Maíces Nativos, la Conabio (2011) coordinó las actividades de diferentes instituciones con lo cual se incrementó notablemente la labor de colecta del maíz en prácticamente todo el país, llegando a alcanzar el número de muestras más de 22 000. El Proyecto Global de Maíces Nativos aunque enfatizó la utilización de la diversidad del maíz y la conservación *in situ*, siguió prevaleciendo la estrategia de la conservación *ex situ* que responde a la trayectoria tecnológica hegemónica de los países industrializados que concibe los recursos genéticos de maíz como capital de reserva en bancos de germoplasma para aplicaciones industriales y como seguro de riesgos a futuro (Serratos, 2009a).

Una manera de analizar la dispersión del maíz transgénico, y su relación con la conservación del maíz nativo mexicano para comprender las consecuencias de esta interacción es evaluar las acciones, las políticas o la filosofía que se han aplicado en la evaluación y el manejo de riesgos del maíz transgénico desde su implementación a finales de la década de 1980. En este trabajo se analizarán los procesos claves de la bioseguridad en México, que influyeron en la dispersión actual del maíz transgénico, así como el impacto que esto podría acarrear en la conservación *in situ* y *ex situ* del patrimonio genético de maíz en nuestro país.

Evolución de la bioseguridad en México a partir del Tratado de Libre Comercio de Norte América

En 1988, con la expedición del primer permiso para hacer pruebas en campo con un tomate modificado por ingeniería genética se inició la bioseguridad en México así como su discusión en círculos de especialistas y entre productores del norte del país (Serratos, 2009b), particularmente en el estado de Sinaloa, en donde se empezaba a concentrar la producción de maíz y que en los años siguientes alcanzaría el liderazgo nacional hasta el presente.

Hacia 1992, las autoridades de la Dirección General de Sanidad Vegetal (DGSV) eran oficialmente las encargadas de los temas de bioseguridad y biotecnología en el sector agrícola. Participante en la organi-

zación de protección de plantas de Norteamérica (NAPPO, por sus siglas en inglés) la DGSV se integró al esquema de bioseguridad de América del Norte. En ese mismo año se llevó a cabo la Convención de la Diversidad Biológica (CBD) en la que se delineó el uso responsable de la biotecnología, el principio precautorio y los primeros elementos para el establecimiento del Protocolo de Cartagena. México fue de los primeros países en firmarlo y ratificarlo; sin embargo, a nivel interno la participación de Secretaría de Medio Ambiente (SEMARNAT) fue bastante marginal en bioseguridad y, paradójicamente, los aspectos regulatorios siguieron siendo competencia plena de la Secretaría de Agricultura a través de la DGSV. Asimismo, el manejo de la biodiversidad agrícola siguió en manos del sector agropecuario y en particular el manejo y conservación de la diversidad del maíz se mantuvo bajo el control del INIFAP con el apoyo, principalmente, de las Universidades e Instituciones del sector agrícola y del CIMMYT. Para 1992, se había avanzado la fundamentación de la bioseguridad iniciada en 1988.

En 1993 se inició la discusión de la filosofía regulatoria y los principios de bioseguridad en el grupo *ad hoc* de científicos de disciplinas diversas, que años después constituirían el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA). Esa filosofía se derivó de principios ecológicos y la hipótesis de trabajo se basó en la suposición de que “los ecosistemas —y particularmente la biodiversidad— pueden ser alterados por la introducción de OGMs” (Carreón-Zuñiga, 1994). De facto, el CNBA asumió las premisas de la Convención de la Diversidad Biológica para la protección especial de los cultivos de los cuales México es Centro de Origen. La visión de la DGSV y el CNBA se dirigía a la prevención y se utilizaba el principio de precaución con relación a los OGMs ya que la misión era evitar afectaciones a los cultivos de los cuales México fuese centro de origen y diversidad; el maíz fue la especie clave, paradigmática, para el CNBA.

La formalización del CNBA inició con el fortalecimiento de los diferentes aspectos de la bioseguridad del maíz y para ello se organizó un simposio acerca del maíz transgénico, su impacto en la conservación y en la diversidad del maíz nativo en México. En colaboración con el CIMMYT, INIFAP y con el financiamiento del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (UNDP, por sus siglas en inglés), el CNBA organizó en 1995 el foro, *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico* (Serratos *et al.*, 1996). En ese foro se produjeron las siguientes conclusiones y recomendaciones, aportadas por los especialistas en maíz que participaron en el Foro y

que constituyeron la guía y los lineamientos aplicados en el CNBA para el análisis y manejo de riesgos del maíz transgénico entre 1995 y 1999. Éstas han sido enunciadas reiteradamente hasta ahora por diferentes actores y en diferentes escenarios, con lo que se prueba su pertinencia y visión de largo plazo:

- Adoptar la hipótesis de que sí ocurre la introgresión bidireccional entre maíz y teocintle aun cuando sea de baja frecuencia.
- [Tomar en cuenta que] la probabilidad de flujo genético entre maíz transgénico y criollo es mucho mayor que la anticipada para el maíz transgénico y el teocintle.
- Tener presente que los sistemas de producción y la utilización del maíz en Estados Unidos son muy diferentes a los de México, por lo que las evaluaciones del maíz transgénico y las técnicas seguidas para ello en el primer país no son necesariamente válidas para las condiciones del segundo.
- Hacer estudios cuidadosamente diseñados para obtener información precisa y cuantitativa acerca del flujo genético entre especies y variedades del género *Zea* antes de liberar comercialmente maíz transgénico en México, en vista de que no es posible anticipar los efectos, tanto favorables como desfavorables, que se producirían con las interacciones génicas de los transgenes y los genes “nativos”.
- [Designar] áreas que consideren diferentes niveles de riesgo para el establecimiento de pruebas de campo y experimentación con maíz transgénico. La supervisión de las pruebas de campo en las diferentes zonas de riesgo deberá ser realizada por personal profesional capacitado y autorizado.
- [Llevar a cabo la] conservación ex situ de germoplasma de maíz en instalaciones adecuadas para el almacenamiento a largo plazo.
- [Construir y operar] en México un Banco Nacional de Germoplasma Vegetal, no sólo para maíz, sino para todas las especies botánicas de importancia agrícola.
- [Completar] con anterioridad a la liberación comercial del maíz transgénico, 20% de las colecciones que faltan para tener representada la diversidad genética del teocintle en México.
- Iniciar un programa de monitoreo de las poblaciones de teocintle con la participación de las instituciones locales con el propósito de rescatar el conocimiento que tienen las comuni-

dades que están de alguna manera asociadas al manejo de este germoplasma.

- [Considerar] en cuanto a las demás poblaciones de teocintle [*Zea mays* ssp mexicana razas Nobogame, Altiplano Central, Durango y Chalco; *Z. mays* ssp parviglumis variedades *parviglumis* y *huehuetenangensis*; *Zea luxurians*; *Zea nicaranguensis*; *Zea perennis*] propuestas similares a las de [*Zea diploperennis* en] la Reserva de la Biósfera de Manantlán.
- [Orientar] las prioridades de investigación y conservación [...]al maíz criollo y después al teocintle, ya que se anticipa que el flujo transgénico se daría en ese orden.
- Iniciar trabajos de conservación y caracterización en maíz y teocintle en zonas contiguas o cercanas a los poblados que tienen un alto crecimiento demográfico y en aquellos que están sujetos a cambios ecológicos importantes.
- Hacer un balance de riesgo-beneficio para determinar si los riesgos pueden ser mayores que los beneficios o viceversa, y discernir cuáles son los efectos de unos y otros sobre los productores de diferentes niveles socioeconómicos.
- [Enfocar la investigación] hacia los transgenes y las plantas transgénicas que ya se encuentran disponibles o avanzados en su desarrollo, entre los cuales se identifican los siguientes:
- El maíz transgénico que expresa la proteína insecticida del gen de la α -endotoxina de *Bacillus thuringiensis*; se infiere que la presencia de individuos tolerantes a la α -endotoxina podría contribuir al desarrollo de poblaciones de insectos resistentes al producto transgénico.
- El maíz transgénico con resistencia a herbicidas podría implicar para las poblaciones de teocintle dos tipos de situaciones: una situación de riesgo en el momento de la aplicación de herbicidas que acompaña la introducción de variedades transgénicas resistentes a éstos, o bien, en otro escenario se supondría una ventaja adaptativa para el teocintle, conferida por la introgresión del transgén, lo cual le permitiría desarrollar una mayor capacidad de sobrevivencia e incrementar su potencialidad de convertirse en maleza.
- Obtener información complementaria acerca del tamaño efectivo de la población, aspectos básicos de la panmixia y de la capacidad reproductiva de las poblaciones de teocintle.

- Diseñar investigaciones para determinar las frecuencias del flujo génico, frecuencias de introgresión y el efecto de los transgenes incorporados al teocintle.
- [Usar] marcadores codominantes para el estudio de las poblaciones experimentales seleccionadas, en tanto que el tamaño de la muestra debe ser adecuado para determinar las diferencias biológicamente significativas. Adicionalmente, se sugiere utilizar como fuente de polen las plantas resistentes a herbicida obtenidas mediante métodos convencionales con el fin de hacer comparaciones con materiales sustancialmente equivalentes.
- Llevar a cabo pruebas de campo con el maíz transgénico en México, siempre y cuando se tomen medidas adecuadas para prevenir el flujo génico. Estas medidas dependerán de qué se quiere probar y de los objetivos de los ensayos propuestos, tomando siempre en cuenta que las medidas de seguridad propuestas pueden ser válidas sólo para algunos genes, ciertas localidades y épocas determinadas.
- [Analizar] las instituciones que pretenden llevar a cabo estas pruebas. Se tendrá que demostrar que disponen del personal científico y técnico adecuado para manejar las pruebas con el debido profesionalismo, [así como] contar con infraestructura para realizar estos trabajos de una forma adecuada y responsable, y evitar el escape del polen.
- [Seguir permanentemente] las pruebas y llevar una bitácora, siempre a disposición de los miembros del Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola
- [Establecer] mecanismos de acceso restringido y de vigilancia estricta en los sitios de prueba para evitar que salga material, voluntaria o involuntariamente, de estos lugares.
- Crear un mecanismo y un cuerpo especial de seguimiento y vigilancia durante la fase de experimentación y prueba de campo con maíz transgénico en México.
- Evitar el círculo vicioso de prohibir todo por falta de información.
- [Aislar el material transgénico] en el ámbito de los campos experimentales o centros de desarrollo de estos materiales.
- [Utilizar para] el aislamiento en campos de productores [lo siguiente:]

- Barreras físico-biológicas de contención de polen, las cuales podrían ser el mismo cultivo, en este caso maíz o la caña de azúcar en regiones tropicales y subtropicales.
- Si el material utilizado como barrera es [maíz] ni el grano ni el rastrojo deben usarse para alimento humano y animal.
- Si hay probabilidades de escape mediante el grano o la semilla, debe destruirse el grano que se obtiene de las barreras.
- Alrededor del sitio experimental no debe sembrarse maíz en el ciclo siguiente al ensayo con el material transgénico. Además, se deberá regar y barbechar el campo para eliminar las plantas voluntarias al finalizar el ciclo del ensayo.
- Analizar cuidadosamente y por anticipado las consecuencias de la desregulación [ya que] la liberación de maíz transgénico en México debe ser considerado como un caso especial y de gran importancia. El caso del maíz transgénico es diferente, no tanto en la etapa experimental, sino en la etapa de liberación comercial, en la cual no puede haber confinamiento y es en donde se presentará el mayor problema
- [Educar al] público para que comprenda lo que está ocurriendo con la introducción del material transgénico, sería un paso importante en la transparencia de la toma de decisiones para la desregulación.
- [Hacer un trabajo interinstitucional coordinado en la] investigación acerca del flujo de genes y el análisis de los riesgos biológicos derivados del uso y la liberación de plantas transgénicas.

Queremos enfatizar que en ese foro se establecieron de manera sintética los elementos fundamentales que fueron elaborados más ampliamente en las conclusiones y recomendaciones de otros estudios, particularmente destacamos el que suscribió la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA, 2004) del Tratado de Libre Comercio de Norte América porque se elaboró 9 años después y a consecuencia de lo que se anticipaba desde 1995: la incorporación de transgenes en el maíz nativo de México. No estamos argumentando que el informe de la CCA se haya basado en el Foro de 1995, simplemente apuntamos que existe una notable convergencia en esas recomendaciones y conclusiones.

En 1995 se concluyó la norma oficial NOM 056 FITO (publicada en 1996) que tenía el objetivo de “*establecer el control de la movilización dentro del territorio nacional, importación, liberación y evaluación en el medio*”

ambiente o pruebas experimentales de organismos manipulados mediante la aplicación de ingeniería genética para usos agrícolas". Uno de los considerandos más importantes de la NOM 056 establecía que "la introducción de los organismos manipulados mediante ingeniería genética para aplicarse en agricultura, constituyen un alto riesgo por lo que su importación, movilización y uso en territorio nacional, debe realizarse en estricto apego a medidas de bioseguridad". Ese enunciado, derivado del principio precautorio, fue eliminado en la práctica al constituirse la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) la cual sustituyó la regulación por la promoción de beneficios derivados de la biotecnología a través de su uso responsable.

En la NOM 056 se hacía referencia al control de la importación de OGMs, sin embargo, este aspecto regulatorio fue excluido de la competencia del CNBA y sólo se le permitió evaluar la importación de OGMs que se utilizaran en pruebas experimentales en campo. Por lo tanto, la fuerte importación de grano de maíz de Estados Unidos, con un porcentaje creciente de maíz transgénico, se manejaba y se sigue manejando por diferentes áreas de la SAGARPA y de la Secretaría de Economía (en aquel tiempo la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, SECOFI).

El primer permiso para una prueba de campo con maíz transgénico fue concedido al Centro de Biotecnología Aplicada del CIMMYT en 1996. A partir de ese año y hasta enero de 1999 hubo un incremento significativo de solicitudes de experimentación en campo con maíz transgénico (Turrent y Serratos, 2004; Serratos 2009b). En ese período se llevaron a cabo pruebas de campo evaluadas, registradas y validadas por el CNBA las cuales generaron métodos y técnicas que permitieron el manejo básico del maíz transgénico en condiciones experimentales supervisadas (Serratos, 2009b). Así, en 1997 se tenían los elementos básicos para un escrutinio científico de las pruebas de campo en condiciones experimentales. Se concluyó que en superficies de menos de una hectárea, con supervisión técnica, desfase de cultivo y barreras físicas y biológicas, es posible manejar el maíz transgénico en campo. Sin embargo, la siguiente escala en este proceso, las pruebas piloto y el aumento en el tamaño de las parcelas experimentales en las condiciones del campo mexicano con relación a la agricultura del maíz, como ya se había discutido en el foro de 1995, constituían un muy alto riesgo de flujo genético y en consecuencia la ineludible incorporación e introgresión de transgenes en las poblaciones de maíz que se cultivan en México. Este riesgo se consideró inaceptable para la gran diversidad de

maíces de polinización libre y semilla criolla o acriollada que existe en alrededor de 80% de la superficie arable dedicada al maíz por lo que se inicio el análisis, discusión y evaluación de las recomendaciones de los especialistas en maíz para fijar una posición oficial con relación a las siguientes etapas en la bioseguridad del maíz nativo. Hacia finales de 1998, los miembros del CNBA propusimos una moratoria a la liberación de maíz transgénico y en la SAGARPA se implementó una moratoria *de facto* a la expedición de permisos para las pruebas de campo con maíz transgénico a través de la Subsecretaría de Agricultura.

El retroceso en bioseguridad

Al implementarse la moratoria *de facto* y con el cambio de gobierno en el año 2000, la SAGARPA reaccionó con cambios clave en la estructura de bioseguridad por lo que se congela la iniciativa de consolidar la moratoria y se crea la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) que deriva en la desintegración del CNBA. Un cambio radical sucede con la implementación de la CIBIOGEM y se anulan los principios del sistema regulatorio manejado por la CNBA, la cual funcionaba marcadamente enfocada en el espíritu de la Convención de la Diversidad Biológica y en la decidida protección de los cultivos originarios, en particular del maíz. El documento base para la creación de la CIBIOGEM, modificado por el gobierno federal, enfatiza “que nuestro país debe aprovechar los procesos que conducen a las innovaciones científicas y tecnológicas que en materia de biotecnología, bioseguridad y manejo de organismos genéticamente modificados se están dando en los diferentes países del orbe”, además de “determinar, de conformidad con las disposiciones legales aplicables, criterios a efecto de que los trámites para el otorgamiento de autorizaciones, licencias y permisos a cargo de las dependencias, para la realización de las actividades [...] sean homogéneos y tiendan a la simplificación administrativa”.

Con el abandono de los principios ecológicos y de protección de la biodiversidad agrícola en la CIBIOGEM, inicia la intervención y el cabildeo del sector biotecnológico de la academia el cual junto a autoridades de SAGARPA y de la propia CIBIOGEM promueven legislación en materia de bioseguridad. Con el apoyo de un sector de la Academia Mexicana de Ciencias, la CIBIOGEM y a través del Senador Rodimiro Amaya del Partido

de la Revolución Democrática se dio inicio a la discusión de lo que en el año 2005 se convirtió en la Ley de bioseguridad y organismos genéticamente modificados (LBOGM, 2005). Esta ley refleja indudablemente los intereses del sector biotecnológico que la promovió y está asimismo ligada a los intereses de las empresas biotecnológicas que convergen con ese sector de la academia. A partir del artículo 2 fracción XV de la LBOGM se introduce el fomento a la investigación en biotecnología como uno de sus mandatos. Posteriormente, en el artículo 9, fracción VI del capítulo II se establece como si fuera un principio de bioseguridad, el fomento a la investigación en áreas biotecnológicas. Aún más, en la fracción XII de este mismo artículo se introduce el apoyo a *“el desarrollo tecnológico y la investigación científica sobre organismos genéticamente modificados que puedan contribuir a satisfacer las necesidades de la Nación”*. Finalmente, el capítulo VI de la ley está dedicado a avalar el fomento a la investigación científica y tecnológica en materia de biotecnología y bioseguridad, pero de manera explícita se obliga al estado a fomentar, apoyar y fortalecer la investigación en esas áreas. En particular, se establece que: 1) se impulsará la investigación en biotecnología para resolver necesidades productivas específicas (Artículo 28); 2) se desarrollarán programas de biotecnología y bioseguridad (Artículo 29) y; 3) el CONACYT debía constituir un fondo para el fomento y apoyo a la investigación en esas áreas en las que pueden participar dependencias, entidades y recursos de terceros (Artículo 31).

Se puede concluir que en la LBOGM se encuentran profundas incongruencias con el objeto de la misma ya que la biotecnología y específicamente sus productos (OGMs) son los que deben estar regulados y supervisados. La bioseguridad es una actividad que requiere de la participación concertada de muchas disciplinas científicas por lo que esta ley al mandar la participación, fomento y desarrollo de la biotecnología, se le está privilegiando y al mismo tiempo se excluye o minimiza la participación de diversas disciplinas científicas y tecnologías, ecológicas, sociales, antropológicas y ambientales, que deberían estar por encima de aquella, para el manejo seguro de los OGMs. Al privilegiar en la LBOGM a la biotecnología en el manejo de la bioseguridad, culmina un proceso en el que se destruye el marco ecológico, ambiental y de protección a la biodiversidad en general y a la agrícola, en particular, con el que inició la bioseguridad en México.

Al establecer en la LBOGM que el estado aplicará el enfoque de precaución *“conforme a sus capacidades”* se inutiliza la potencia del principio precautorio y se introduce un elemento de discrecionalidad que ha resulta-

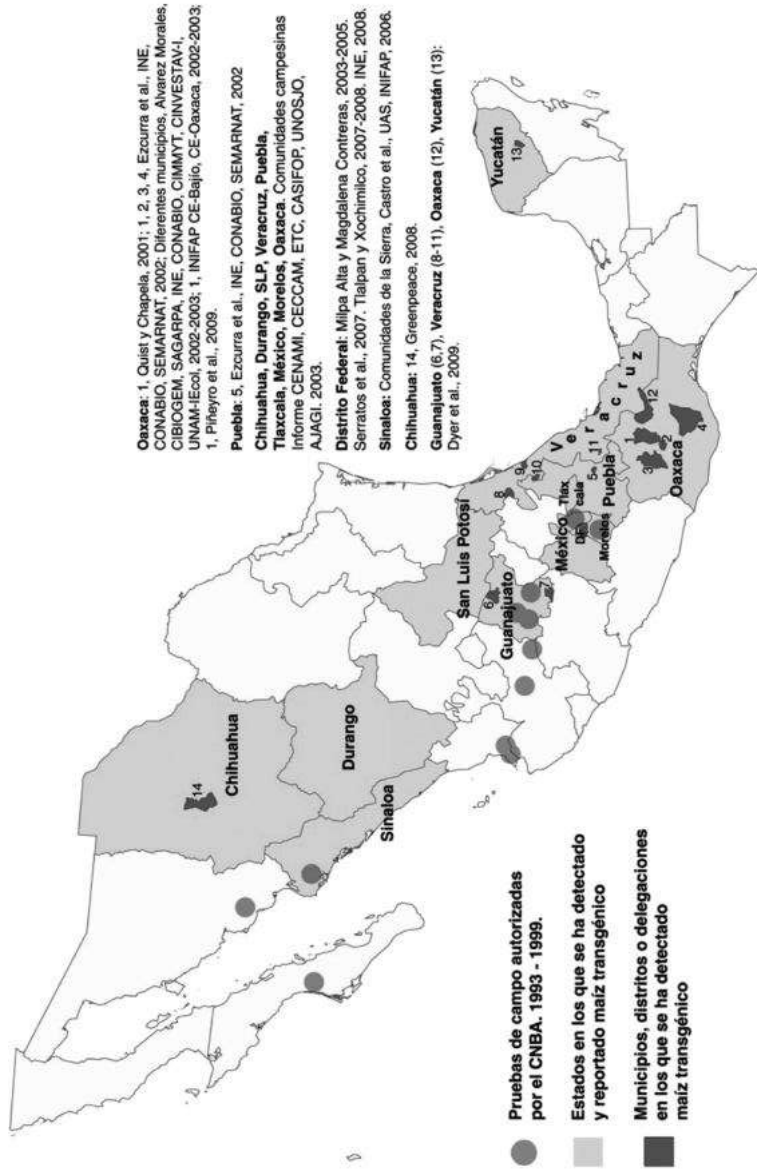
do perjudicial para la diversidad del maíz, porque su protección dependió de la importancia y prioridad que el gobierno asigne a esos recursos. Es claro que los gobiernos del 2000 al 2012 no han tenido como prioridad la conservación y protección del germoplasma ya que después de once años de la primera noticia del hallazgo de transgenes en el maíz nativo de Oaxaca (Figura 1), las instituciones de gobierno han sido incapaces de tener una respuesta oportuna y contundente por lo que se ha permitido que el problema avance hasta un grado alarmante. Los programas y medidas adoptadas en estos once años han resultado paliativos que permiten realizar propaganda gubernamental acerca de la conservación y la bioseguridad con la cual se oculta la realidad de la, al parecer, inexorable desregulación de maíz transgénico en los centros de origen, domesticación y diversidad del maíz localizados en nuestro país.

La conservación de la diversidad de maíz en México

En México se encuentran los centros de origen, domesticación y diversidad de una gran variedad de recursos fitogenéticos, entre ellos el maíz. No basta la identificación y documentación de dicha diversidad, es crucial la conservación de tales recursos, por lo que el funcionamiento de bancos de germoplasma —entre otras estrategias de conservación *ex situ*—, como complemento a la conservación *in situ* es un asunto de suma importancia.

La colecta de la diversidad de maíz nativo en México comienza desde principios de 1940. El primer trabajo de recolección sistemático fue hecho gracias al esfuerzo conjunto de la Fundación Rockefeller y la Secretaría de Agricultura de México, que crearon en la década de 1940, la *Oficina de Estudios Especiales (OEE)* y cuyo eje de investigación principal fue el mejoramiento del maíz y del trigo, pues eran los dos cereales con mayor superficie cultivada (72% de la superficie total del país) en el período 1939-1941. La OEE formó un banco de información genética con semillas provenientes de muchas regiones productoras de la República entre 1940 y 1960, y las más de mil variedades de maíces nativos fueron llevadas a la estación experimental de Chapingo con el fin de averiguar cuáles tenían las mejores características agronómicas. Así, se seleccionaron algunas variedades y se entregaron para su multiplicación a los agricultores del país. Este trabajo conjunto de la OEE, con instituciones mexicanas dio como resultado el libro “Razas de Maíz

Figura 1. Evidencias de la presencia de maíz transgénico en México, según estudios llevados a cabo por Universidades, Dependencias de Gobierno y Organizaciones no gubernamentales de 2001 a 2009. En el mapa se localizan los sitios en donde el CNBA autorizó ensayos de campo con maíz transgénico de 1993 a 1999.



en México” (Wellhausen *et al.*, 1952) el cual ha servido como referencia fundamental para el conocimiento de la diversidad del maíz nativo mexicano hasta el presente (Gaona Robles y Barahona Echeverría, 2001; Taba, 2008; Serratos, 2009a; CIMMYT, 2012).

En ese tiempo, el gobierno mexicano estableció el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), actualmente INIFAP, el cual colectó más extensamente la diversidad de razas de maíz criollo entre 1970 y 1980. En el esfuerzo de colaboración de conservar las colecciones de razas criollas de maíz en América Latina, INIFAP ha cooperado junto con el CIMMYT, USDA y la Universidad de Carolina del Norte desde principios de 1980, regenerando y preservando dichas colecciones. El inventario hasta el 2005 de accesiones de maíces criollos fue de aproximadamente 9000 accesiones en ambas instituciones, (Taba, 2008; CIMMYT, 2012).

En 1966, se creó el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) con sede en México. En su primera etapa de investigación, dio seguimiento al trabajo de sus organizaciones precursoras (la OEE y el Programa Internacional de Maíz), y el CIMMYT se abocó a la colección, caracterización y conservación de muestras de semilla de maíz nativo de México. Posteriormente, en 1988 se fortalecían los bancos de germoplasma del CIMMYT e INIFAP y las iniciativas de redes de conservación como el Programa Latinoamericano de Maíz retomaban la sistematización, caracterización y documentación de la diversidad de maíz en el mundo y, en particular, la de México bajo el resguardo de INIFAP.

En la etapa actual, el CIMMYT tiene a su cargo el banco de germoplasma mundial en el cual se conservan más de 25,000 muestras de semilla de maíz, incluida la colección más grande del mundo de razas y muestras de parientes silvestres del maíz (teocintle y *Tripsacum*) y de variedades mejoradas.² El Centro mantiene estas colecciones en colaboración con instancias en todo el mundo, como patrimonio de la humanidad y con prohibición para ser patentadas o limitar por cualquier medio su libre distribución (Morris y López-Pereira 2000; CIMMYT, 2012).

² De 1988 a 1997, la superficie sembrada con maíz en México fue, en promedio, de 8.4 millones de hectáreas; el mismo estudio de impacto indica que, en 1996, el 20.3% de la superficie de maíz estaba sembrada con variedades mejoradas. No obstante, los materiales del CIMMYT representaban gran parte de ese porcentaje, pues el 73% de la semilla de variedades de polinización libre y el 90% de la semilla híbrida contenían germoplasma del CIMMYT.

Los trabajos y las colecciones resultantes desde los inicios de la colaboración OEE-INIFAP-CIMMYT desde los años 1940s, representan el 90% de la diversidad del maíz en las Américas. Así mismo, CIMMYT-INIFAP llevan más de una década de colaboración en estudios en el sureste de México sobre el manejo y la conservación *in situ* de las razas indígenas y las variedades criollas de maíz,³ contribuyendo sustancialmente a la mejor comprensión de los mecanismos de manejo de los recursos genéticos de cultivos locales, así como de quienes se dedican a él y de los retos que enfrentan (CIMMYT, 2012).

Por otra lado, en 1983, la Universidad Autónoma de Chapingo como parte de su Programa Nacional de Etnobotánica, crea el Banco Nacional de Germoplasma Vegetal. A la fecha, en los cuartos fríos para la conservación *ex situ* del germoplasma vegetal, el BANGEV, cuenta con un total de 18345 colectas curatoriales, además de parcelas manejadas en convenio con comunidades de agricultores tradicionales en las que se conserva *in situ* más de 1623 colecciones, (BANGEV-UACH). Los más recientes proyectos realizados por la Universidad de Chapingo en colaboración con el Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara han logrado registrar 678 muestras de razas de maíz nativo de la región Jalisco y Michoacán. Sobresalen en número de registros, las razas de *Maíz Prieto de Tierra Caliente*, *Maíz Amarillo*, *Elotero de la Costa*, *Tsirí*, *Charápati*, *Tabloncillo Perla*, *Vandeño*, *Zamorano Amarillo* entre otras. Asimismo, en colaboración con la Universidad Autónoma Metropolitana Iztapalapa y el Campo Experimental Valle de México se concretaron 955 registros de maíz nativo de la región Loxicha de Oaxaca, además de 317 muestras de maíz nativo de Yucatán en colaboración con el Centro de Investigación Científica de Yucatán (CICY).

Al adherirse en 2001 al Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura, auspiciado por la

³ Como parte de un proyecto colaborativo a nivel regional liderado por CIMMYT para rescatar y preservar las colecciones de diversidad del maíz, se ha trabajado, desde principios de los años 1990, con financiamiento de la Agencia Estadounidense para el Desarrollo Internacional (USAID), el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) y Japón, en la regeneración de unas 5,000 muestras de semilla de variedades que incluyen razas criollas y parientes silvestres. En 1997, CIMMYT-INIFAP (Oaxaca) colectaron y mejoraron muestras de las razas de Zapalote Chico, Bolita y Olotón. Esta clase de colección y conservación, junto con el mejoramiento participativo de las razas que los agricultores prefieren, ha aumentado, y en 2007 se lanzó un proyecto colaborativo con CONABIO destinado al estudio de la diversidad del maíz en la región de la Huasteca en México, sobre todo de versiones de grano blanco y amarillo de la raza Tuxpeño.

FAO, México se comprometió a mantener medidas normativas y jurídicas encaminadas a fomentar el uso sostenible de los recursos fitogenéticos. En respuesta a los compromisos derivados del mencionado tratado, el gobierno mexicano ha impulsado el desarrollo de varias Instituciones, por mencionar algunas de las más importantes; El *Centro Nacional de Recursos Genéticos (CNRG)* que forma parte de las acciones del *Sistema Nacional de Recursos Genéticos para la Alimentación (SINARGEN)*, asegura el resguardo y conservación a largo plazo de las colecciones que representan la biodiversidad mexicana. Dentro del SINARGEN, el subsistema más avanzado es el *Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI, Subsistema Agrícola)* dado que es también el más antiguo. El SINAREFI desde su creación en 2002, coordinado por el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS), ha operado como un mecanismo de coordinación y vinculación, sin infraestructura propia —apoyado por 50 instancias (universidades, centros de investigación y enseñanza, asociaciones de productores y organizaciones civiles) y 270 investigadores organizados—, con el objetivo de conservar y promover la utilización de los recursos fitogenéticos de tal manera que se mejore la productividad y la sustentabilidad de la agricultura. (Claridades Agropecuarias, 2010; SINAREFI, 2009-2010).

Desde la iniciativa privada, en el 2008, se creó el *Proyecto Maestro de Maíces Mexicanos (PMMM)* que realiza trabajos para la conservación *in situ* de los maíces criollos mexicanos con recursos del fideicomiso conformado por Monsanto, la Confederación Nacional de Productores Agrícolas de Maíz de México (CNPAMM), el gobierno de Puebla y la UAAAN. Las primeras acciones de este proyecto fueron identificar las zonas, parcelas y productores que aún cultivan semillas de maíces criollos en la sierra del estado de Puebla y este programa ya se ha extendido a otros 13 estados, entre los que destacan Tlaxcala, Oaxaca, Estado de México, Michoacán, Sonora y Tamaulipas (Aguirre Moreno *et al.*, 2010). Para el 2010, la SAGARPA y la CNPAMM inician la primera etapa del Banco Nacional de Germoplasma de los Productores de Maíz de México en la UAAAN, que también forma parte del mismo PMMM, donde más de 200 productores de Puebla depositaron las colectas de 60 especies del grano. El Banco se ubica en 3.5 hectáreas de la Universidad y tiene una capacidad de almacenamiento de 435 m³, cuenta con un moderno sistema de conservación, mantenimiento y caracterización para albergar hasta 100 mil muestras. (SAGARPA, 2010).

Por otra parte, el Programa de Maíces Criollos (PROMAC) de la SEMARNAT coordinado por la Comisión Nacional de Áreas Naturales Protegidas (CONANP) fue iniciado en 2009 para “*promover la conservación de las razas y variedades locales de Maíz criollo y sus parientes silvestres en las regiones prioritarias para la conservación, así como apoyar proyectos comunitarios, estudios técnicos y cursos de capacitación que permitan la preservación y recuperación de sus poblaciones*”. Con este programa se apoyaron 449 acciones de pago por conservación *in situ*, sembrándose 19,859.77 ha con maíz criollo de las cuales 8,447 ha se sembraron con razas de maíz criollo en riesgo alto, definidas por la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de Biodiversidad. Según sus objetivos este programa dará continuidad a largo plazo a las acciones del mismo aunque no hay reportes de proyectos y actividades realizadas y/o en fase para los últimos años.

En 2006, la CONABIO inició el proyecto, *Recopilación, generación, actualización y análisis de información acerca de la diversidad genética de maíces nativos y sus parientes silvestres en México (2006-2011)* (CONABIO, 2011) como parte del Proyecto Global de Maíces Nativos en un esfuerzo por actualizar la información de maíces y sus parientes silvestres en México y para la generación de planes estratégicos que permitan su conservación y aprovechamiento. El proyecto global se desarrolló de finales de 2006 a 2010, periodo en el que se financiaron y llevaron a cabo 12 proyectos específicos cuyos resultados están disponibles para todo público en la página web de la CONABIO (CONABIO, 2011). La base de datos del Proyecto Global de Maíces Nativos correspondiente a las colectas, está integrada por 22,931 de maíces nativos, 599 de teocintle y 527 de *Tripsacum*. Como resultado del proyecto, la CONABIO preparó un documento donde realiza recomendaciones a la SEMARNAT y la SAGARPA sobre la liberación de Organismos Genéticamente Modificados, entre ellas destacan:

- El monitoreo de OGM de maíz en México debe incluir las rutas de distribución de grano de maíz importado, ya que los cargamentos contienen maíz GM, y el grano es una semilla viable.
- Es necesario establecer incentivos para proteger y conservar la diversidad promoviendo que *se reconozca, premie, valore y apoye a los sistemas y prácticas agrícolas tradicionales e innovadores que representan las formas de vida de millones de familias mexicanas que cultivan maíces nativos para el autoconsumo, los mercados locales y regionales.*

- El desarrollo de la *biotecnología* puede atender ciertos problemas nacionales, pero debe de ser preferentemente *llevado a cabo por instituciones públicas nacionales que además garanticen que los elementos básicos para la seguridad alimentaria del país no sean sujetos de derechos o pagos por su uso.*
- En cuanto a la liberación al ambiente de maíces genéticamente modificados en México, se debe asumir que en un escenario de liberación comercial no se podrá controlar el flujo génico de maíces GM hacia otros maíces y sus parientes silvestres. Liberar maíz GM a nivel piloto o comercial creará riesgos a la diversidad genética del maíz que de manera inmediata tendrán costos institucionales de respuesta y gestión. Los beneficios deben ser claramente superiores a los riesgos antes de que decidamos asumir efectos potencialmente irreversibles en el centro de origen y de diversidad del maíz.
- La identificación de áreas que son centros de diversidad no implica que fuera de ellas las medidas de bioseguridad no se apliquen; al contrario, significa que las medidas de bioseguridad fuera de los centros de diversidad deben garantizar que maíces que sean OGM no lleguen a estas regiones de manera involuntaria o accidental, algo que como se indicó, es casi imposible.

Una vez más, encontramos convergencias en las recomendaciones que por más de 15 años se han discutido en México, en particular, la recomendación 4 de CONABIO se puede comparar con la recomendación 26 del Foro de 1995. Por supuesto las recomendaciones actuales están más elaboradas de las que se propusieron en el pasado, pero el cuestionamiento central persiste, ¿las instituciones tienen que iniciar *de novo* todos los programas, acciones e iniciativas, en cada administración? Por el contrario, encontramos divergencias e incongruencias con estas recomendaciones en casos recientes como el de la patente de proteínas insecticidas, desarrollada y financiada por la UNAM,⁴ en la cual se protege la o las plantas transformadas con esa proteína, entre otras el maíz, lo cual es una contradicción directa con la recomendación número 3 de la CONABIO.

⁵ <http://www.freepatentsonline.com/20090144854.pdf>. En los reclamos de protección se especifica que se protege, mediante la patente, “plantas transgénicas, semillas y células de plantas [maíz, algodón, soya, arroz, coliflor, entre otras] que contengan” el gene especificado en la descripción patentada.

En 2012, en Tepatitlán de Morelos, Jalisco, se inauguró el *Centro Nacional de Recursos Genéticos “Proyecto Bicentenario”*, instalación científica que recibió una inversión de casi 400 millones de pesos del Gobierno Federal y que cuenta con capacidad para resguardar hasta tres millones de muestras genéticas de la biodiversidad nacional. Una de sus líneas políticas es la de contribuir al rescate, conservación, uso, potenciación y aprovechamiento sustentable de los recursos genéticos. Hasta el momento se han accesado 23,500 muestras de tipo agrícola; sin embargo, todavía no se han dado a conocer los detalles de programas, acciones y proyectos de este Centro.

Hemos revisado los esfuerzos conjuntos en la preservación, resguardo y mejoramiento del germoplasma de maíz nativo. En la siguiente sección, analizaremos las implicaciones de la introducción de transgenes en el germoplasma de maíz nativo conservado *in situ* y *ex situ* y su repercusión en tan invaluable recurso fitogenético de México.

Discusión y perspectivas

Introducción de transgenes en los bancos de germoplasma de México y sus posibles consecuencias

La consolidación del modelo neoliberal mexicano, iniciado por Miguel de la Madrid en 1982, y profundizado por Vicente Fox y Felipe Calderón con el establecimiento de gobiernos “*de empresarios para empresarios*” en asociación con las cúpulas financieras que aplican políticas macroeconómicas “*cuyo objetivo es favorecer la atracción de flujos externos de capital y complacer al capital internacional*” (Guillén Romo, 2012), se ha reflejado en el caso particular de la bioseguridad en México a través de las demandas de las empresas biotecnológicas transnacionales que requieren simplificación administrativa y anulación o relajamiento de las regulaciones. El retroceso de las bases de la bioseguridad es un caso específico de ese modelo de políticas neoliberales encaminadas a la eliminación de regulaciones en materia agropecuaria y que en México, con el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), se impondría para facilitar el comercio de productos de todo tipo. Estas medidas de liberación comercial y facilitación regulatoria permitirían, como ya se ha demostrado, la entrada indiscriminada de maíz transgénico a México, en virtud de que las reglas de comercio tienen primacía sobre la regulación en bioseguridad.

Con la administración Foxista se desencadenan una serie de medidas que transforman radicalmente las políticas de bioseguridad y que concluirían con la publicación de la LBOGM, así como con eventos que marcarían el desenlace de la dispersión del maíz transgénico en México (Figura 1). Como se mencionó, el trabajo de Quist y Chapela (2001) produce, entre el 2000 y el 2003, una reacción de investigaciones realizadas por el Instituto Nacional de Ecología (INE) en colaboración con CONABIO y la de SAGARPA-CIBIOGEM en el 2001-2002 (Serratos, 2009b).

La primera investigación oficial derivada de los resultados obtenidos por Quist y Chapela (2001) llevada a cabo por los investigadores del INE y de la CONABIO confirma la presencia de maíz transgénico en los estados de Oaxaca y Puebla y los resultados se presentan en la Conferencia Internacional “*LMOs and the Environment*” (OECD, 2002). En su participación, Ezcurra y sus colaboradores concluyen que, “*Si los resultados son corroborados [...] se confirmará definitivamente la presencia de elementos transgénicos sembrados en México a pesar de la moratoria a la siembra y cultivo de maíz transgénico en el país*”.

Por otra parte, la SAGARPA conforma un comité *ad hoc* para llevar a cabo un estudio de gran magnitud en los estados de Oaxaca y Puebla. Los objetivos planteados fueron: 1) el muestreo extensivo de maíz de los dos estados; 2) determinar el origen del maíz transgénico y hacer una estimación del grado de dispersión que pudiese haber en ellos; 3) informar a la sociedad mexicana la situación del maíz transgénico en Oaxaca y Puebla y las acciones que la SAGARPA emprendería ante esa problemática. Esta investigación de SAGARPA se manejó de una manera mucho más restringida que la de INE y CONABIO, y contraria a la información con la que se contaba (Alvarez Morales, 2002; 2003) e incongruente con los principios de bioseguridad, la única decisión oficial que tomó la SAGARPA en el año 2003 fue el levantamiento de la moratoria *de facto* que se había establecido en 1998 (CCA, 2004).

De esa forma las competencias interinstitucionales resultaban antagónicas, pero fueron subsanadas a través del establecimiento de un control de información con relación a los hallazgos de maíz transgénico. De cualquier forma, no se pudo evitar una serie de protestas y acciones diversas de organizaciones de la sociedad civil que desembocaron en la denuncia pública ante la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) de América del Norte por la contaminación del maíz nativo de Oaxaca con maíz transgénico. Finalmente, esta estrategia de control de información se cierra con la publicación de Ortíz y colaboradores (2005) en

la cual se condensan las interpretaciones de los estudios oficiales y que se habían decidido años atrás en las conclusiones de los encargados gubernamentales de la bioseguridad: el maíz transgénico había sido controlado y había disminuido su presencia en las poblaciones de maíz nativo en Oaxaca. Actualmente, haciendo a un lado su propia ley, el gobierno va concediendo más permisos de “experimentación” con maíz transgénico en campo después de un largo proceso de destrucción de los pocos instrumentos de protección que se habían implementado al inicio de la bioseguridad en México.

Junto al desarrollo de experiencias en bioseguridad y las adecuaciones que se discutían para la protección del maíz nativo en el CNBA, la exploración y colecta de maíz nativo en México se había detenido y sólo hasta mediados de los años 90 del siglo pasado se continuaron las actividades de colecta y documentación del banco de germoplasma de maíz mexicano. Estas actividades fueron disminuyendo y las misiones para coleccionar y complementar la información del maíz en extensas regiones de la república contaban cada vez con menos recursos financieros. Esto fue así hasta el 2006 cuando la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO) lanzó convocatorias múltiples para reanudar esos esfuerzos de colecta y documentación en las zonas del país que requerían una exploración básica con relación a su diversidad de maíz.

Por otra parte, el foco de atención en cuanto a la conservación se había desplazado hacia la utilización de la diversidad de maíz concentrada en los bancos de germoplasma y, de manera significativa, hacia la conservación *in situ*. Con la Convención de la Diversidad Biológica se enfatizó el objetivo de conservación de los cultivos, su hábitat y el apoyo a los agricultores que los conservan. De esta manera, la conservación se convertía en una actividad integral para la protección de todo el agroecosistema y su diversidad, por lo que desde 1992 y hasta el presente se han destacado iniciativas que permiten el conocimiento de los sistemas agrícolas tradicionales como la milpa y el desarrollo de la “investigación participativa”, en la cual, los agricultores son los sujetos que adquieren el conocimiento a través de su propia experiencia. En esta línea de investigación se han destacado instituciones como el CIMMYT, el INIFAP, el Colegio de Postgraduados, la UNAM, entre otras, y organismos no gubernamentales como el Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiable A.C (GIRA), el Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA), el Centro Nacional de Ayuda a las Misiones Indígenas A.C (CENAMI) y el Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano (CECCAM).

Bellon *et al.* (2009), afirman que el futuro de la diversidad del maíz está indisolublemente ligado al futuro de la agricultura campesina, con lo que se mantienen las prácticas de selección y flujo de semilla ancestrales, y por ende la selección divergente, el flujo génico y la conservación de recursos genéticos en manos de agricultores. Lo anterior significa que para mantener la diversidad es necesario diseñar mecanismos de intervención que no solamente estimulen la conservación del material genético, sino que contribuyan a mejorar los resultados productivos y económicos para los agricultores.

Hacia mediados de los años 90 se consolidaron cerca de 10,000 accesiones (muestras) de la diversidad de las 59 razas de maíz de México catalogadas en el Banco de Germoplasma del INIFAP en colaboración con CIMMYT. En años recientes gracias al impulso de la CONABIO (2011) se han podido recolectar más de 12,000 muestras de maíz nativo en todo el país, pero principalmente en algunas regiones que se habían olvidado y en algunas otras que requerían una re-exploración por el cambio en el uso y la pérdida de suelo, así como la emigración de los productores. En los dos sexenios más recientes se ha decidido seguir en el clímax de los gobiernos neoliberales: la conservación *ex situ* en bancos de germoplasma.

En la actualidad, la trayectoria tecnológica hegemónica en la agricultura ha implicado que los recursos genéticos se vuelvan un insumo estratégico y para las empresas la semilla es clave pues en ella concentran su tecnología. La consolidación de la trayectoria dominante requiere de legislación específica y ante esto, la *Ley de Producción, Certificación y Comercio de Semillas* promovida por el SNICS que entró en vigor en 2007 es un elemento importantísimo en la reproducción del sistema de control agroalimentario. Esta nueva Ley es el complemento de la *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados* ya que estas dos legislaciones están ajustadas para proteger los intereses de compañías transnacionales que tienen el control monopólico global de las semillas y, en particular, de las transgénicas con casi el 90%, así como el mercado global de otras semillas.

Las semillas de maíz se han manejado como un bien común por los campesinos durante miles de años. En la actualidad, las compañías semilleras a través de proyectos como el “Proyecto Maestro de Maíces Mexicanos” se involucran en el manejo del patrimonio genético de México. Esto representa un riesgo porque los bienes comunes deberían ser de manejo libre y a través de convenios privados o la introducción de

secuencias genéticas patentadas por las empresas biotecnológicas se podría restringir el uso del maíz nativo en México. Secuestrar la diversidad del maíz nativo de las manos campesinas, para manejarlo en bancos *ex situ*, y continuar su expulsión de sus territorios por medio de genocidio económico, confirmaría la tendencia que se siguió en los Estados Unidos, a principios del siglo XX, con la implementación de la trayectoria tecnológica del maíz híbrido (Serratos, 2009a) y la privatización de la semilla en unas cuantas compañías monopolizadoras. El control tecnológico y jurídico sobre la semilla de maíz permite anticipar que la introducción y expansión de semillas híbridas en combinación con los transgenes de estas empresas ineludiblemente terminarían en los bancos de germoplasma, provocando problemas legales de consecuencias negativas para el patrimonio genético del país y los campesinos que lo trabajan.

Al respecto, los casos de contaminación transgénica ya conocida en variedades nativas mexicanas de maíz son ilustrativos en cuanto a la dificultad de impedir y regular la siembra de transgénicos. Los vaivenes en las políticas de bioseguridad en México han permitido que el gobierno expida permisos de siembra a nivel experimental y piloto por lo que podemos estimar que la desregulación del maíz transgénico en México es inminente. Para 2009, se otorgaron permisos experimentales a varios consorcios multinacionales con el objeto de conducir 24 experimentos con maíz transgénico en campo en los estados de Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas a pesar de que, según la base de datos de CONABIO (2011), estos estados cuentan con 24 razas primarias catalogadas con 1,084 accesiones para Chihuahua; 16 razas primarias catalogadas con 366 accesiones para Sinaloa; 12 razas primarias catalogadas con 273 accesiones para Sonora; y, 8 razas catalogadas con 515 accesiones para Tamaulipas (*ver* Cuadro 1). De acuerdo con Boege (2009) hay más de cinco grupos étnicos residentes en esos cuatro estados.

En 2011, la SAGARPA aprobó ensayos de campo con maíz transgénico en 63.5 hectáreas en “fase piloto” (etapa previa a la fase comercial) en Sinaloa. Con esta autorización se pavimenta el camino para posteriores autorizaciones de “ensayos piloto” en la región norte del país. Las autorizaciones para las siembras piloto representan la antesala de la desregulación comercial con lo cual será imposible adoptar medidas de bioseguridad para todas las regiones de cultivo de maíz. De esa forma, se incrementa la probabilidad de que ocurra lo que sucedió con el algodón transgénico en nuestro país, en donde se sembraron hasta 110,000 hectáreas en un año, bajo modalidad piloto, y a pocos años se documentó

Cuadro 1. Razas primarias catalogadas para Sonora, Sinaloa, Chihuahua y Tamaulipas, estados en donde se otorgaron permisos de siembras experimentales con maíz transgénicos en 2009.

Estado	Raza primaria (accesiones)
Chihuahua	Apachito(64); Azul(96); Blando(2); Bofo(1); Bolita (4); Cacahuacintle(1); Celaya(50); Chalqueño(1); Cónico(2); Cónico norteño(213); Cristalino de Chihuahua(304); Dulce(2); Dulcillo del Noroeste(6); Gordo(58); Nal-tel(1); Palomero de Chihuahua(6); Palomero toluqueño(1); Pepitilla(5); Ratón(64); Tablilla de ocho(12); Tabloncillo(27); Tابلoncillo perla(2); Tuxpeño(3); Tuxpeño norteño(98). NO DETERMINADAS (61)
Sinaloa	Blando(15); Bofo(1); Celaya(1); Chapalote(15); Conejo(3); Cubano amarillo(1); Dulce(1); Dulcillo del noroeste(13); Elotero de Sinaloa(14); Jala(1); Onaveño(10); Reventador(14); Tabloncillo(98); Tabloncillo perla(40); Tuxpeño(78); Vandeño(5). NO DETERMINADAS (53)
Sonora	Blando(21); Celaya(1); Chapalote(13); Dulcillo del Noroeste(13); Gordo(7); Onaveño(51); Reventador(23); Tabloncillo(30); Tabloncillo perla(27); Tuxpeño(4); Vandeño(14); Tuxpeño norteño(1). NO DETERMINADAS (68)
Tamaulipas	Conejo(1); Cónico(4); Cónico norteño(1); Dzit- Bacal(4); Olotillo(2); Ratón(98); Tuxpeño(230); Tuxpeño norteño(95). NO DETERMINADAS (80)

Fuente: CONABIO, 2010.

la contaminación de algodón silvestre creciendo a miles de kilómetros de las siembras originales, (Wegier A., et al, 2011). Si consideramos que el maíz es de polinización abierta y de fácil comercialización e intercambio en todo México, entonces podemos anticipar que su dispersión será mucho mayor que la observada para el algodón. Por otra parte, observamos que incluso en países como Estados Unidos, en donde las compañías controlan el abasto y distribución de semillas y éstas no se reciclan de un ciclo agrícola a otro, más del 70% de los acervos de este grano que no debían tener transgenes están contaminados por estos en una proporción mayor a la aceptable, (Mellon y Rissler, 2004).

Como se muestra en la Figura 1, a la fecha tenemos noticias de la presencia de maíz transgénico en 13 estados de la república (Quist

y Chapela, 2001; Ezcurra *et al.*, 2002; Serratos *et al.*, 2007; Mercer y Weinberger, 2008; Dyer *et al.*, 2009; Piñeyro *et al.*, 2009) y aunque es difícil explicar con exactitud cómo se introdujo el maíz transgénico se han adelantado varias hipótesis: 1) la siembra de grano transgénico proveniente de las importaciones; 2) el contrabando o la introducción ilegal de semilla; 3) programas oficiales de semilla sin supervisión (p. ej. Kilo por Kilo); 4) redes comerciales de semilla en pequeña escala; 5) mala supervisión de las pruebas de campo realizadas en el país. Investigaciones recientes (Piñeyro *et al.*, 2009; Dyer *et al.*, 2009) apuntan a una combinación de las cuatro primeras hipótesis lo que favoreció la entrada de maíz transgénico en México.

Independientemente de las hipótesis, el hecho es que el maíz transgénico se ha introducido en su centro de origen y desde entonces continúa su dispersión en diferentes estados del país (Serratos, 2009b). La responsabilidad recae en las dependencias gubernamentales que no consolidaron una política de estado en bioseguridad y en las más recientes administraciones que han claudicado en la defensa de los intereses del país por los intereses de las corporaciones a las que han solapado a través de omisiones en la actuación y, en algunos momentos, franca complicidad de los sectores gubernamentales involucrados en la protección del patrimonio genético del país.

La dispersión de maíz transgénico en México es una amenaza para la conservación *ex situ* e *in situ* del maíz nativo. El peligro inmediato es para el campesino y se presenta en la esfera jurídica ya que los productores que, sin saberlo, hayan adquirido semilla transgénica por cualquier medio (oficial, comercial o ilegal) generarán incubadoras de semilla nativa transgénica, que no podrá ser intercambiada, vendida o comercializada sin caer en la infracción del uso indebido de la patente contenida en la secuencia transgénica transferida, a través de flujo genético, por el maíz transgénico. El primer paso para la transmisión de transgenes es la siembra de semilla transgénica que al madurar producirá gametos masculinos que fertilizarán al maíz no transgénico. Además, la planta transgénica producirá semilla hemicigótica y homocigota dependiendo del tipo de polen que fertilice sus gametos femeninos (contenidos en la inflorescencia femenina o jilote). Así, la probabilidad de incorporación de transgenes al germoplasma del maíz nativo va en aumento en función tanto por la evidente desregulación de esta actividad (siembras piloto y comerciales), como por el aumento del área de siembras a campo abierto sin una capacidad estricta de biomonitoreo por parte de las autoridades.

Un rubro de suma importancia es determinar si los bancos de germoplasma actuales están libres de transgenes, así como evaluar la dinámica espacio-temporal de la presencia de transgenes, sus contextos genómicos y las razas criollas afectadas (Serratos *et al.*, 2004). Esta información es fundamental para programas futuros de reintroducción de semilla libre de transgénicos en sitios en donde haya flujo por hibridación o introgresión. En este sentido es prioritario revisar y adaptar a las circunstancias actuales, la metodología que siguen los bancos de germoplasma para asegurar que sus acervos no incorporen transgenes.

Por otra parte, la diversificación y gran adaptación que ha tenido el maíz en México hace que las poblaciones nativas de maíz se conviertan en un “banco de germoplasma” vivo y que evoluciona constantemente. En ese sentido, la conservación de maíz *in situ* es fundamental en México y no debe ser sustituida por la conservación *ex situ*, sino que ambas deben ser consideradas complementarias (Bellon *et al.*, 1997). Sin duda, existe en la actualidad una mayor apreciación de la necesidad de la conservación tanto *ex situ* como *in situ* (Global Biodiversity Outlook, 2001) y es necesario reconocer los esfuerzos recientes que se han llevado a cabo por parte de instituciones para conservar ese patrimonio. Sin embargo, esas acciones parecen insuficientes frente a la desregulación del maíz transgénico en México ya que se está introduciendo un riesgo más a la conservación de maíz nativo. No nos referimos a los potenciales riesgos biológicos o ambientales generados por la interacción del maíz transgénico y el maíz nativo, en este trabajo llamamos la atención y el enfoque a ese problema particular que se está generando inmediatamente en las parcelas de los campesinos y productores de maíz en las que se podría estar incubando maíz nativo transgénico, el cual potencialmente podría llegar a cualquier programa de conservación *in situ* y *ex situ*, con las posibles consecuencias legales que esto podría acarrear. Pensamos que es una situación delicada para la conservación del maíz nativo y en ese escenario nuestra única recomendación es retomar las recomendaciones que se han avanzado desde instituciones académicas, gubernamentales, organizaciones de la sociedad civil, en las que se enfatiza la participación de las comunidades campesinas y rurales que han cultivado y siguen cultivando el maíz nativo de México (Kato *et al.*, 2009).

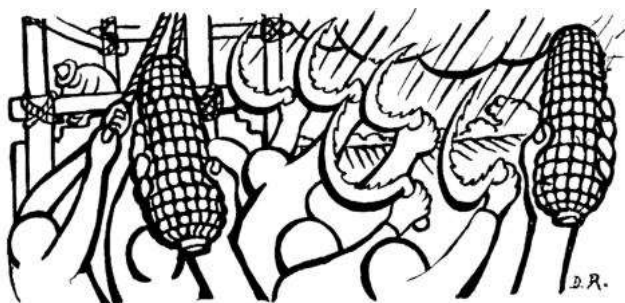
Referencias

- Aguirre Moreno V., Sánchez Rincón F., Ramírez Segoviano R., Colón Alvarado O. y G. Razo Marín M (coords.). (2010). *Modelo para la conservación de maíces criollos en el Sureste de Coahuila*. UAAAN-COL-POS-SINAREFI.
- Álvarez Morales A. (2002). Transgenes in maize landraces in Oaxaca: Official report on the extent and implications. In *The 7th International Symposium on the Biosafety of Genetically Modified Organisms (ISBGM)*. Beijing, China, 10-16.
- Álvarez Morales A. (2003). Session on: Possible implication of the release of transgenic crops in centers of origin or diversity. *Environ. Biosafety Res.* 2, 47-50.
- Bellon, MR, Pham J-L, Jackson MT. (1997). Genetic conservation: a role for rice farmers. En: *Plant Genetic Conservation*, Maxted N. et al. (eds.). London, UK: Chapman & Hall, 263-289.
- Bellon, M.R., et al. (2009) Diversidad y conservación de recursos genéticos en plantas cultivadas. En *Capital natural de México, vol. II: Estado de conservación y tendencias de cambio*. México: Conabio, 355-382.
- Boege, E. (2009). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México: hacia la conservación in situ de la biodiversidad y agrobiodiversidad en los territorios indígenas*. México, D.F.: Instituto Nacional de Antropología e Historia, 342.
- Carreón-Zuñiga. (1994). Field Trials with Transgenic Plants: The Regulatory History and Current Situation in Mexico. In *Biosafety for Sustainable Agriculture: Sharing Biotechnology Regulatory Experiences of Western Hemisphere*. Krattiger A.F y Rosemarin A. (eds.). Estocolmo, Suecia: ISAAA-SEI, 218-224.
- CCA. (2004). *Maíz y Biodiversidad. Efectos del maíz transgénico en México. Conclusiones y Recomendaciones. Informe del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental*. Montreal, Canadá. Acceso 8 de mayo, 2012. http://www.cec.org/Storage/56/4839_Maize-and-Biodiversity_es.pdf
- CIMMYT. (1988). *From Agronomic Data to Farmer Recommendations: An Economics Training Manual*. Edición revisada. Mexico, D.F. cimmyt, 2012. México y el CIMMYT. Acceso Abril, 2012: <http://apps.cimmyt.org/spanish/wps/mexico/introduccion.htm>
- Claridades Agropecuarias (2010). *México construye el centro Nacional de Recursos Genéticos. Avances a grandes pasos en la conservación de la Biodiversidad en Claridades Agropecuarias*, 205: 26-31.

- CONABIO (Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad). (2011). *Proyecto Global de Maíces Nativos*. Acceso 8 de mayo, 2012: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html>; http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/InformedeGestion_V1.pdf
- Dyer George A., Serratos-Hernández J., Perales H., Gepts P., Piñeyro-Nelson A., Chávez A., Salinas-Arreortua, Yúnez-Naude A., Taylor E., Alvarez-Buylla E. (2009). Dispersal of Transgenes through Maize Seed Systems in Mexico. *PLoS ONE*. 4(5), e5734.
- Ezcurra, E., Ortiz, S., Soberon, J. (2002). Evidence of Gene Flow from Transgenic Maize to Local Varieties in Mexico. En *LMOs and the Environment: Proceedings of an International Conference*. OECD, USDA. Raleigh, NC., 289 – 295. Acceso 8 de mayo, 2012: <http://www.oecd.org/dataoecd/40/56/31526579.pdf>; <http://www.oecd.org/dataoecd/9/37/31778752.pdf>
- Gaona Robles A. y Barahona Echeverría A. (2001). *La introducción de la genética en México: la genética aplicada al mejoramiento vegetal, Asclepio LIII-2*.
- Global Biodiversity Outlook. (2001). *Secretariat of the Convention on Biological Diversity. Montreal*: Canadá, 158-159.
- Guillén Romo A., (2012). México: Alternancia política, estancamiento económico y proyecto nacional de desarrollo. En *Análisis estratégico para el desarrollo, Vol. 4: Políticas macroeconómicas para el desarrollo sostenido*. Calva J.L. (Coordinador). Juan Pablos, Editor, Consejo Nacional de Universitarios, 273-297.
- Kato TA, Mapes C, Mera LM, Serratos JA, Bye RA. (2009). *Origen y diversificación del maíz: una revisión analítica*. México, D.F.: UNAM, CONABIO, 116.
- LBOGM (Ley de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados). (2005). *Diario Oficial*. Viernes 18 de marzo de 2005, Congreso de los Estados Unidos Mexicanos, México D.F. DOF 18-03-2005. Acceso 8 de mayo, 2012. http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/1125/1/ley_de_bioseguridad_de_organismos_geneticamente_modificados__18-03-2005.pdf
- Mercer, K. L., and J. D. Wainright. (2008). Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: An analysis en Agric. *Ecosyst. Environ*, 123, 09-115.
- Mellon, M., & Rissler, J. (2004). *Gone to seed: Transgenic contaminants in the traditional seed supply*. Washington, DC: Union of Concerned

- Scientists. [Disponible en: <http://www.ucsusa.org/publications/report.cfm?publicationID=783>].
- Morris, M.L. y M.A. López Pereira. (2000). *Impactos del mejoramiento de maíz en América Latina, 1966-1997*. México, D.F. CIMMYT. Acceso 8 de mayo, 2012: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/handle/10883/1007>
- OECD. (2002). *LMOs and the Environment Proceedings of an International Conference. 27-30 November 2001*, OCDE, USDA, EPA, Roseland CR (ed). Paris, France.
- Ortiz-García, E. Ezcurra, B. Schoel, F. Acevedo, J. Soberón y A. A. Snow, (2005). *Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003–2004)*. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 102(35): 12338–12343. Disponible en: [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073_pnas.0503356102](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0503356102)
- Piñeyro-Nelson A, Van Heerwaarden J, Perales HR, Serratos JA, Rangel A., Hufford MB, Gepts P, Garay A, Rivera R, Alvarez-Buylla ER. (2009) Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology*, 18, 750–761.
- Quist D. and Chapela I., (2001). Transgenic DNA Introgressed into Traditional Maize Landraces in Oaxaca, México. *Nature* 414, 541-543.
- SAGARPA, (2010). Comunicado de Prensa NUM.345/10. *En marcha primera etapa de Banco de Germoplasma de los productores de maíz de México*. Saltillo, Coah., 11 de agosto de 2010. Acceso 8 de mayo, 2012: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/boletines2/2010/agosto/Documents/2010-B345.pdf>
- Serratos Hernández J. A, Willcox M, Castillo F. (1996). *Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico*. México, DF. CIMMYT (Centro Internacional de Maíz y Trigo). Acceso 8 de mayo, 2012. http://apps.cimmyt.org/spanish/docs/proceedings/geneflow/contents_spa.htm<http://apps.cimmyt.org/english/docs/proceedings/geneflow/contents.htm>
- Serratos-Hernandez JA, Islas-Gutiérrez F, Buendía-Rodríguez E, Berthaud J. (2004). Gene flow scenarios with transgenic maize in Mexico. *Environ. Biosafety Res.* 3, 149-157.
- Serratos-Hernández J. A., J. L. Gómez-Olivares, N. Salinas-Arreortua, E. Buendía-Rodríguez, F. Islas Gutiérrez, and A. de Ita. (2007).

- Transgenic proteins in maize in the soil conservation area of Federal District, México: *Front Ecol. Environ.* 5(5):247-252.
- Serratos Hernández J.A., (2009^a). *The origin and diversity of maize in the American continent*. Greenpeace. Acceso 8 de mayo 2012 en, UNEP (United Nations Environmental Program), Bioversity International y GEF (Global Environmental Facility). <http://www.cropwildrelatives.org/resources/publications/books.html#http://www.greenpeace.org/mexico/es/Footer/Descargas/reports/Agricultura-sustentable-y-transgenicos/el-origen-y-la-diversidad-del/>
- Serratos Hernández J.A. (2009^b). Bioseguridad y dispersión de maíz transgénico en México. *Ciencias* 92 - 93: 130-141. Universidad Nacional Autónoma de México. Acceso 8 de mayo, 2012. http://revistaciencias.unam.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=210%3Abioseseguridad-y-dispersion-de-maiz-transgenico-en-mexico&catid=41&Itemid=48
- SINAREFI. (2009-2010). *Políticas Públicas de Maíz criollo*. Acceso 8 de mayo, 2012: <http://www.sinarefi.org.mx/proyectos%2020009.pdf>
- Taba, S. (2008). *Monitoreo y recolección de la diversidad de razas de maíz criollo en la región de la Huasteca en México para complementar las colecciones de los Bancos de Germoplasma de maíz de INIFAP y CIMMYT en Informe final de actividades preparado para la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Convenio Núm. FB0000/FZ007/07
- Turrent A., Serratos J.A. (2004). *Chapter 1: Context and Background on Maize and its Wild Relatives in Mexico*. Secretariat CEC, Montreal, Canada. Acceso 8 de mayo, 2012. http://www.cec.org/Storage/52/8597_Maize-Biodiversity-Chapter1_en.pdf
- Wegier, A., A. Piñeyro-Nelson, J. Alarcón, A. Gálvez-Mariscal, E. R. Álvarez-Buylla & D. Piñero. (2011). Recent long-distance transgene flow into wilds populations conforms to historical patterns of gene flow in cotton (*Gossypium hirsutum*) at its centre of origin en *Molecular Ecology*. 20(19), 4182-4194.
- Wellhausen, E., Roberts, J., Roberts, L.M., Hernández, E., (1952). *Races of Maize in Mexico: Their Origin, Characteristics, and Distribution*. Harvard University Press, Cambridge, MA.



CAPÍTULO 9
CIENCIA GLOBAL, EL MAÍZ MEXICANO Y EL NEOLIBERALISMO
MOLECULAR: CAMBIANDO LOS FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA,
INNOVACIÓN Y POLÍTICAS PARA UNA ALIMENTACIÓN
Y UNA AGRICULTURA SOSTENIBLES*



Brian Wynne

Introducción

A mediados del siglo XX, la revolución verde incrementó la productividad agrícola global y se convirtió en el ejemplo más célebre de la presunta capacidad milagrosa de las ciencias modernas al desarrollar las “semillas milagrosas” que salvarían a la humanidad del hambre. En los años 40, el agrónomo Norman Borlaug y la Fundación Rockefeller la introdujeron en México y, durante los siguientes 25 años, acabó por globalizarse. Eventualmente logró transformar el semblante de la agricultura global y, en general, a la sociedad de gran parte de Latinoamérica y Asia. Sin embargo, como sucede con toda tecnología, ciertas condiciones sociales, económicas —y biológicas— eran requeridas para que pudiera existir como una tecnología exitosa y productiva. Pero éstas no eran condiciones naturales, ni tampoco fueron examinadas y debatidas como temas sociales (y políticos). No solamente es necesario examinar de manera realista sus reivindicaciones “milagrosas”, sino también las condiciones que requerirían estas si se pretendiera cumplir sólo parcialmente con ellas. Para el advenimiento de semillas

* Traducción: Katya Frank Hoefflich

híbridas de alto rendimiento, científicamente aprobadas y con tecnología agrícola de punta, se necesitan condiciones iniciales específicas en lo que concierne a las sustancias químicas sintéticas, a la energía y al endeudamiento de los agricultores. Sin todo esto, se hubiera fracasado desde el inicio, y, si no hubieran existido ciertas condiciones y cambios sociales, este proyecto tampoco podría haber continuado. Esta ciencia no era neutral, a pesar de que sus metas suponían un enfoque humanitario genuino y estaban de acuerdo con los objetivos políticos anticomunistas de los Estados Unidos, quienes impulsaron enormes inversiones con intereses políticos y económicos determinados en países como México y, más tarde India.

Desde que en 1970 los milagros científicos de la revolución verde alcanzaron su cúspide mundial, cuando empezaron a disminuir los beneficios en la producción, los enfrentamientos entre el uso de la genética moderna en el desarrollo de biotecnologías agrícolas intensivas (organismos genéticamente modificados u OGMs) y los agricultores tradicionales llevan ya dos décadas y se incrementan en todo el mundo. Al igual que su predecesora, la llamaron la cruzada de la razón científica y de la generosidad en contra de la superstición y la ignorancia, de las ineficaces agriculturas tradicionales. Después de casi 30 años de hegemonía internacional y del desplazamiento de alternativas científicas de investigación y desarrollo (R&D, por sus siglas en inglés) además de trayectorias de innovación polémicas, el éxito limitado de la “revolución” GM solamente se ha logrado bajo condiciones biológicas y socioeconómicas particulares. Lo que denominan “la ciencia contra la ignorancia” se describiría de una forma más precisa como “cultura instrumental reduccionista con visión periférica restringida contra la cultura práctica integradora de la complejidad”.

La ciencia involucrada en la revolución GM, considerada de manera tradicional, incluso por sus autoridades reguladoras, como una caja-negra regalo de la naturaleza que no es posible cuestionar porque únicamente la naturaleza ha determinado su forma, necesita abrirse y examinarse a partir de los presupuestos culturales-normativos y contingentes que, en contextos como el de la agricultura global, la soberanía y la justicia alimentaria sostenible, son eminentemente políticos. Al contrario de las poderosas aseveraciones sobre la necesidad científica, las trayectorias hegemónicas de investigación, desarrollo (R&D) e innovación existentes podrían ser distintas. No sólo resulta que aquello que llamamos ciencia es un asunto político y cultural, sino que tam-

bién lo que llamamos tradición basada en la superstición, ignorancia e irracionalidad implica un prolongado conocimiento experimental y empírico, así como la posibilidad de un trabajo conjunto para innovar a través de una ciencia diferente, ilustrada, más justa y sostenible. Los agro-ecosistemas de cooperación orientados a la agrobiodiversidad tradicional han sido reconocidos desde hace tiempo, incluso por los analistas occidentales modernos, *como una cultura innovadora y no como una cultura anquilosada* (RAFI-UNDP, 1994; Hobart, 1993; Leach *et al.*, 2010). Pero esta afirmación no se ha tomado en cuenta y ha sido incluso desechada por ciertos organismos científicos de occidente encargados de la política comercial, debido a que representa una forma epistémica y cultural respetuosa de la complejidad, del desarrollo a largo plazo y de la redistribución de propiedades comunales que no es congruente con el engrandecimiento de los poderes económicos privados ni con los intereses que controlan las concentraciones económicas, intereses que han entretejido las actuales culturas científicas e instrumentales de occidente que han entreverado la injusticia y la no-sostenibilidad dentro del tejido de sus propias estructuras epistémicas e institucionales.

En este capítulo intentaré ampliar el contexto para comprender más claramente la importancia que tiene la agricultura mexicana como un campo de batalla global; hablaré sobre los OGMS, sobre maíz y sobre la economía política del conocimiento y la innovación agrícolas a nivel local y mundial. Primero examinaré cómo se han definido las relaciones entre la ciencia y la tradición, en lo que se refiere a la alimentación y la agricultura, en los entornos institucionales tanto políticos como comerciales y científicos incluyendo también a los medios de comunicación. Posteriormente señalaré cómo las ideas modernistas clásicas de la ciencia —explotadas regularmente por promotores de los OGMS— que la conciben como una fuerza icónica del razonamiento, de la transparencia y del bienestar público automático, han sido utilizadas para fomentar la creencia pública y la política de que cualquier forma o trayectoria de innovación científico-tecnológica que sea planteada por la “ciencia”, deviene de la naturaleza y, por esto mismo, se encontrará fuera del alcance y las decisiones de los hombres. Este es un mito autocomplaciente. También señalaré cómo la ciencia genómica moderna está invadida por los imaginarios humanos implementados por el comercio de los elementos apropiados (aunque selectivos) de la naturaleza, teniendo como objetivo el control y la manipulación suficiente para obtener el dominio económico-político de los mercados y las cadenas de abaste-

cimiento y utilizando el nombre de la naturaleza y de la ciencia para su propio beneficio. Esta ciencia está, por lo mismo, amordazada y se encuentra determinada por intereses que sirven a un poder comercial y político ilegítimo e injusto, contrario a la innovación agrícola en asuntos globales de sostenibilidad, de accesibilidad universal, de seguridad y de soberanía alimentaria. En estos aspectos, la ciencia no solamente es cultural, sino también política. Y, por esto mismo, debería encontrarse abierta al cambio, tanto en los propósitos y prioridades que conducen el imaginario humano, como en los accionistas que tienen el privilegio de influir en sus cuestiones, agendas, prioridades y, en general, en su cultura epistémica. Las fuerzas existentes que la definen, conforman y controlan de una manera predominante en realidad están estrechando y restringiendo el potencial de la ciencia para el bienestar global de los hombres. De una forma perversa, juegan enfatizando las perspectivas de crisis y potenciales emergencias en la seguridad alimentaria global para hacer más atractivas sus promesas vacías y cortoplacistas de un rescate milagroso a través de remedios tecnológicos.

La ciencia como cultura: de los íconos a los instrumentos

El milagroso y aclamado éxito de la Revolución Verde obedeció a una serie de condiciones particulares que debían cumplirse para lograr el incremento esperado de la producción alimentaria. Estas condiciones no sostenibles y bien documentadas incluían: el uso intensivo de químicos sintéticos derivados del petróleo (fertilizantes y pesticidas), inversiones energéticas e insumos de mecanización, la dependencia de los agricultores al abastecimiento externo de semillas y, por lo mismo, la interrupción en el desarrollo de semillas experimentales autóctonas más diversas, el intercambio y la preservación de la riqueza de las culturas y de su conocimiento colectivo sobre las cosechas y las condiciones ambientales, grandes inversiones continuas de capital que ocasionaron deudas bancarias y problemas con agentes financieros, la reorientación de la cultura agrícola para la devolución del capital y acceso a los mercados globales a gran escala y, como consecuencia, la unificación de granjas, el despido laboral y la transformación de granjeros independientes a contratistas industriales sembradores de monocultivos trabajando para directores de corporaciones internacionales de cadenas abastecedoras de alimentos y semillas (Paddock, 1970; Shiva, 1991; Leach *et al.*, 2010;

Waters, 2007). Estas nuevas condiciones sin precedentes también causaron daños biológicos como la degradación del suelo y la generación de resistencia de las plagas, lo cual contribuyó eventualmente a la disminución a gran escala, aunque irregular, de los beneficios en el rendimiento a corto plazo.

Sin embargo, los avances científico-tecnológicos en la ingeniería del ADN recombinante y la modificación genética (GM) en plantas de cultivo ocurridos en los años 70 aparentemente condujeron a una revitalización económico-tecnológica de este paradigma agrícola de alto riesgo y altos costos. Este resurgimiento ocurrió bajo la promesa de obtener rasgos GM producidos científicamente, lo cual lograría la reducción en el aporte de químicos externos— el talón de Aquiles de la Revolución Verde—, la adaptación de los cultivos para la tolerancia a la sequía contra posibles cambios del clima y la producción de beneficios nutricionales para los consumidores, todo ello bajo la promesa de no ocasionar efectos secundarios en el ambiente o riesgos a la salud.

Fue así que el primer milagro científico en la agricultura —las semillas híbridas de la Revolución Verde— ocasionó el pronosticado segundo milagro científico que, esta vez se desarrollaba a nivel genómico: los cultivos GM promocionados de una manera agresiva y moralista por las corporaciones globales y agencias estatales partidarias como un ejemplo de ‘ciencia sólida’ y de rescate (Larson, 2003). El final de la hambruna y de la inseguridad alimentaria para la humanidad, que era la promesa del milagro científico de las semillas híbridas modernas, no se cumplió, pero, finalmente, llegaría el segundo milagro científico, los cultivos y semillas GM; las nuevas investigaciones científicas se enfocaron en lo que hasta entonces era el inimaginable diseño específico tecno-científico de la composición molecular no-natural: las semillas transgénicas. La presunta gran precisión de esta nueva tecnología (más bien reduccionista, con una manipulación deliberada a nivel molecular y poco precisa en la inserción del ADN transgénico en las semillas GM) significaba un mayor control del poder tecnológico. Todo este enfoque para intervenir el ADN a nivel molecular, como recurso ideado para crear cultivos y cambios supuestamente controlados y predecibles en la agricultura, desde el origen genético hasta los propósitos agrícolas y socioeconómicos, estaba decididamente justificado por el ‘dogma central del ADN’ dominante en esa época —un gen específico codifica para la producción de una proteína específica, lo que crea una característica a nivel de organismo— y, como se creía entonces, un beneficio agrícola controlado y sin consecuencias

involuntarias e impredecibles. Desde el primer mapeo del genoma humano en 2001, donde se encontraron muchos menos genes de los esperados, el número confirmado (sólo > 20,000, y no > 100,000 esperados) no podía explicar la variedad observada en las características organísmicas de los humanos. Las complejidades epigenómicas y la regulación mutua entre factores genómicos y epigenómicos adquirieron una importancia mucho mayor, y no solamente en la biología humana, sino también para el estudio de las gene-ecologías —cultivos, animales, microbios, etc. El determinismo genético se contradujo rotundamente y, sin embargo, ni éste ni los compromisos dogmáticos previos fueron desacreditados y desechados. La ciencia reguladora de la política ha sido particularmente lenta para enfrentar el hecho de que ella también es una autoridad diseñada e institucionalizada bajo las falacias reduccionistas del dogma central del ADN y su idea de control.

Las realidades de la ecología de genes nos indican que las condiciones de situaciones complejas y no completamente entendidas del propio genoma, de los procesos de transcripción del ARN, de la proteómica y sus vías metabólicas posteriores, pueden afectar de varias formas la función y expresión génica y, por ende, las características organísmicas de los cultivos y de la agricultura en general, especialmente si se toman en cuenta los efectos a más largo plazo. Si esto en verdad fuera reconocido por la ciencia reguladora de la política pública, en lugar de ser ignorado, entonces también este punto clave debería reconocerse como un asunto de política reguladora. La intervención deliberada a niveles más reduccionistas de la vida (ADN-molecular), como la ocasionada por la revolución de los OGM, podría desencadenar una mayor ignorancia biológica de la complejidad, ya que una mayor intervención ha sido iniciada bajo un supuesto implícito de control sobre esas futuras complejidades. Sin embargo, este experimento ha permanecido libre, descontrolado y en secreto respecto a los granjeros y a la sociedad en general quienes, como subordinados, al igual que los cultivos y el medio ambiente, fungen como conejillos de indias experimentales. Además, como estas dimensiones sin control no son admitidas ni por los promotores comerciales ni por las autoridades reguladoras, se delega en los actores subordinados la responsabilidad de los posibles costos presentes y futuros.

Esta situación esencial y “normal” de ignorancia científica (debido a que la ciencia es verificable, provisional y con la posibilidad de autocorregirse, eg Toulmin, 1961; Lacey, 2005) ha sido enérgica y sistemáticamente ignorada, de hecho inclusive rechazada por los promotores

y las autoridades científicas reguladoras en contra de las críticas del público comprometido (Grove-White, *et al*, 1997; Marris, *et al*, 2001). Así por ejemplo, en el 2001 el presidente de la organización científica del Reino Unido para la autorización de la liberación al ambiente de OGM, ACRE (por sus siglas en inglés), fue cuestionado en una reunión pública por un miembro de la Comisión Biotecnológica de Agricultura y Ambiente, AEBC (por sus siglas en inglés) de la siguiente manera:

[AEBC]: ¿Cree que la gente está siendo *razonable* al preocuparse sobre posibles “incógnitas desconocidas” en lo que concierne a las plantas GM?

[ACRE]: ¿*Cuáles* incógnitas?

[AEBC]: Ese es precisamente el punto. No es posible precisarlas con antelación. Posiblemente pueden surgir sorpresas en los efectos sinérgicos imprevistos, o en las intervenciones sociales no anticipadas. Toda la gente debe seguir adelante en experiencias análogas con otras tecnologías...

[ACRE]: Me temo que es imposible responder a menos que me dé una clara indicación de las incógnitas de las que habla.

[AEBC]: Si ese es el caso, ¿no cree que debería agregar leyendas de advertencias a las asesorías que les da a los ministros, indicando que puede haber “incógnitas desconocidas” a las que no puede referirse?

[ACRE]: No, como científicos debemos ser específicos. No podemos proceder con base en las imaginaciones de frentes delirantes...” (UK AEBC public meeting, London, July 2001)”

La ciencia reguladora oficial de ACRE no puede reconocer, porque son impredecibles y, por definición, no-específicas, las posibilidades de efectos dañinos desconocidos y generados por la liberación al ambiente de OGMs. ¡Solamente los efectos controlados y predecibles son científicamente imaginables! Todo lo demás, la condición de ignorancia aunada a la actitud abierta y temporal de los científicos, que supuestamente son el sello de la ciencia “buena”, están condenados a ser “imaginaciones de algunas frentes delirantes” —es decir, irracionales y supersticiosas. En varios estudios de inquietud pública se encontró que precisamente este dogma oficial científico, una forma de autoridad política de la ciencia similar al fundamentalismo religioso, era el que generaba la desconfianza pública (van Kleef *et al* 2006; Grove-White, *et al*, 1997; Marris, *et al*, 2001; Wynne, 2001). En vez de reconocerlo, explicaron que el recelo a la autoridad científica a favor de la tecnología GM era producto de la ignorancia pública y no una responsabilidad científica, gubernamental o industrial (Wynne, 2006).

Esta relación entre ciencia y sociedad en Europa, tal como se expresa en la práctica a través de la “revolución genómica” que, en el caso de la alimentación y la agricultura, significa genómica de plantas y OGMs —una de las mayores intervenciones culturales de la ciencia en los tiempos modernos— puede caracterizarse como una colonización imperial científico-gubernamental y comercial de la sociedad que ha operado a través de un programa histórico moralmente tendencioso en el que aquella intervención político-económica y científica se ha visto imbuida de un derecho autocomplaciente a imponer lo que considera mejor para la sociedad, mientras cualquier indecisión científica pública e independiente, cualquier escepticismo u oposición, queda descartado por irracional o inmoral. No fue ésta solamente una intervención histórica políticamente tendenciosa realizada en el nombre de la ciencia, sino que acabó por definir muy selectivamente la genómica de plantas como un recurso para el bienestar público global, como si esta “ciencia” se ocupara exclusivamente de la modificación genética de las plantas de cultivo y no tuviera un uso más amplio constituyéndose así como una genómica de plantas de vanguardia para el mejoramiento de cultivos no transgénicos, tal como es el caso en el uso de la selección asistida por marcadores moleculares para mejorar la rentabilidad y el poder del cultivo tradicional (Collard y MacKill, 2008). Este mismo fundamentalismo político-cultural ha sido identificado como una ofensiva imperialista para conquistar el dogmatismo “tradicional” y la irracionalidad por antropólogos que han reconocido en él la misma táctica ofensiva de “iluminar” a los no ilustrados en un movimiento que, en realidad, fomenta el avance implacable de la ignorancia, utilizando de manera perversa la modernización y el progreso científico (eg, Hobart, 1993).

¿Puede una ciencia particular combatir la ignorancia y el estancamiento?

Si nos desplazamos de Europa, donde la presión científica y comercial por la GM ha fallado y, de hecho, ha inclusive exacerbado la resistencia pública y la del consumidor, hacia el escenario agrícola mundial, se puede constatar que la GM, por lo menos en algunos países, ha progresado significativamente —aunque con un espectro reducido— sólo respecto al glifosato resistente a herbicidas y el Bt resistente a insectos. Estas

aventuras globales con los cultivos GMs¹ han sido disparejas y efímeras y han generado demandas muy polarizadas sobre las consecuencias reales y posibles en términos de beneficios y daños (Stone, 2002, 2011, 2012). A medida que año con año se incrementa la preocupación sobre la seguridad alimentaria global (IAASTD, 2009; FAO, 2009) y tanto las dimensiones a largo plazo como las menos obvias a este respecto han comenzado a obtener una atención constante, la importancia de las formas multifuncionales en la producción agrícola también se ha enfocado con mayor claridad. Estas estrategias de innovación agrícola reflejan una definición menos reduccionista, más equilibrada, a largo plazo y exhaustiva de los roles esenciales de la agricultura (a corto-plazo y con mayor manipulación externa e intensiva) más allá de la productividad alimentaria por hectárea *inmediata* (van der Ploeg y van Dijk, 1995; van Huylenbroeck y Dury, 2003; Pretty, 2005; Altieri, 2002; Altieri y Funes-Monzote, *et al*, 2011). Aun así, las formas científicas dominantes de la investigación y desarrollo (R&D) están todavía enfocadas la agricultura intensiva dependiente de los derivados no-sostenibles de los combustibles fósiles.

A pesar de que el reporte de la IAASTD (2009) ha enfocado su atención en la necesidad urgente de reconocer que la agricultura moderna intensiva e industrializada ha ocasionado durante muchos años grandes daños a los sistemas agrícolas sostenibles y a la interacción de estos con las culturas y conocimientos fundamentados en la práctica, la idea equivocada aun no ha debilitado la suposición de que esto era un asunto histórico concerniente a la necesaria modernización del conocimiento y las prácticas irracionales, tradicionales e inviables a través de la ciencia racional. De hecho, este planteamiento puede llegar a arraigarse de una forma más profunda y agresiva porque existen más evidencias basadas en un escrutinio escéptico (RAFI-UNDP, 1994; Pretty, 2005; Altieri, 2002; Heinemann y Quist, *et al*, 2012). Muchos autores

¹ Cada vez existe mayor evidencia sobre fallas en el rendimiento de cultivos de soya GM tolerantes al glifosato en Sudamérica, debidas al desarrollo de resistencia por parte de malezas, adquirida en solo unas cuantas estaciones; esto ha requerido del uso de químicos convencionales prohibidos en los Estados Unidos, como el 2,4-D. Ver Meyer y Cederberg (2010). De manera similar, en Estados Unidos existen reportes de fallas en cultivos Bt resistentes a insectos GM después de unos cuantos ciclos de beneficios en el rendimiento, debido al desarrollo de una resistencia a plagas ocasionada por el sistema de administración requerido por el cultivo GM. Como ejemplo: <http://minnesota.publicradio.org/display/web/2012/08/03/regional/corn-rootworm/>

han demostrado, basados en la evidencia, que los puntos de vista en contra de la Revolución Verde y su sucesora La Revolución GM Verde de la “ciencia” (particular) *versus* “no-ciencia”, o “innovación” *versus* “estancamiento” son un delirio grotesco y destructivo. Esta caracterización histórica también ha degradado y devaluado a la ciencia misma, porque ha canalizado y disminuido la flexibilidad y versatilidad de la investigación científica y el potencial del conocimiento hacia vías monolíticas que excluyen y sofocan arbitrariamente el desarrollo de otras vías alternativas para cubrir necesidades públicas globales que no se han explotado. Esto podría verse como un asunto de diseño histórico deliberado y no hay duda de la existencia de fuerzas deliberadas trabajando para restringir y concentrar de una manera selectiva a la ciencia, al desarrollo del conocimiento y a las tecnologías, para consolidar sus intereses. Sin embargo, también podría verse como una lucha asimétrica de reconocimiento y una práctica de la complejidad, es decir, de modestia, frente a las promesas falsamente seductoramente que abogan por un control más simple, centralizado y estandarizado, tanto en lo técnico como en lo social.

Harwood (2009), en su análisis de la Revolución Verde en México, que originalmente pretendía asistir a los *pequeños* agricultores de maíz para mejorar el rendimiento sostenible y así poder mantenerse en el negocio como economías y culturas del maíz independientes- muestra —según su opinión y buenas intenciones— que este objetivo se desvió debido a las exigencias prácticas de las nuevas semillas híbridas, es decir, que el sistema agrícola intensivo e industrializado tuvo prioridad. Así lo planteó Harwood:

“A pesar del éxito en conjunto del incremento en la producción de cereales, los programas de la Revolución Verde en los años 50 y 60 fueron frecuentemente criticados porque no lograron sus objetivos de aliviar la hambruna mundial. La mayoría de sus críticos argumentaron que los programas habían producido una tecnología poco apropiada para las necesidades de los pequeños agricultores campesinos. Este artículo explora por qué esta tecnología inadecuada debería haberse desarrollado en los primeros años del Programa Agrícola Mexicano de la Fundación Rockefeller (MAP). Demuestra que algunos oficiales de la Fundación y asesores agrícolas ya tenían experiencia sobre los problemas que enfrentaban los pequeños agricultores en los Estados Unidos y en otros sitios. Asimismo, la preocupación explícita de la Fundación por la pobreza rural no parece haber sido solamente la postura de una organización ansiosa de aparentar

filantropía. Además, en sus inicios, el programa de cultivo de maíz estaba diseñado para las condiciones de la agricultura mexicana. Sin embargo, una vez que el MAP ya estaba funcionando, se hizo evidente que la tarea de proporcionar nuevas variedades y prácticas de cultivo a los pequeños agricultores iba a ser muy difícil. Para lograr un impacto inmediato, el personal del MAP decidió concentrarse en proyectos que fueran aceptados rápidamente. Esto significó hacer a un lado las necesidades de los agricultores campesinos y desarrollar variedades de alto rendimiento adecuadas para granjas comerciales”.

De esta manera, la demanda por resultados *inmediatos* fue más importante que las soluciones sostenibles a largo plazo y acordes con la cultura, el conocimiento y las necesidades de los pequeños agricultores. Todos estos requerimientos podrían haber estado científicamente fundamentados y se podría haber establecido otro tipo de relaciones con las partes interesadas y otros puntos de vista sobre la normativa histórica de la finalidad de la ciencia (Toulmin, 1961; Lacey, 2005). Así fue como la Revolución Verde adquirió la estructura particular de una agricultura de alto impacto (y no-sostenible) a expensas de lo que hubiera sido una alternativa de desarrollo de semillas y cultivos innovadores de difusión más lenta y con un mayor rendimiento. Esto último habría ocurrido si la investigación científica se hubiera reorganizado de acuerdo a las condiciones biológicas, económicas, culturales, del suelo y ambientales de los agricultores, incluyendo también sus conocimientos y necesidades. Una investigación realizada en el centro ESRC Cesagen en el Reino Unido ha demostrado que la tecnología de semillas y cultivos, así como la investigación básica de cultivos y plantas, han estado sometidas a las mismas fuerzas comerciales y políticas que exigen a la investigación que los planteamientos científicos propongan respuestas en el menor tiempo posible (Stengel, *et al*, 2009; Kamara, 2009). En 2003² un genetista de plantas del Reino Unido declaró en una entrevista que la privatización gubernamental del Instituto Público de Reproducción de Plantas del Reino Unido en 1989 había dejado al laboratorio de las ciencias del cultivo sin un intermediario con la comunidad de criado-

² Era un genetista de trigo en el Centro de Investigación de Cultivos John Innes, Norwich UK, fue entrevistado en octubre del 2003 por Brian Wynne y Katrina Stengel, como parte de un proyecto sobre Genómica de Plantas y Cultivos Comerciales en el Centro ESRC sobre los aspectos sociales y económicos de la genómica, en Cesagen, Lancaster University.

res de plantas. Ellos habrían podido proporcionar sus conocimientos y necesidades para la integración y el manejo de la agricultura, así como el retorno a las prácticas antiguas. Y declaró lo siguiente: “se estableció en el laboratorio un cortocircuito en un solo sentido que favoreció a la tecnología GM”. Desde una perspectiva etnográfica antropológica dentro de la propia cultura y del conocimiento práctico de los agricultores, Van der Ploeg (1993) ha expuesto un síndrome similar en los encuentros entre los agricultores de papa andinos y la ciencia moderna del cultivo genético en los laboratorios, impulsada por los razonamientos normativos (artificiales y optimizados por los laboratorios) donde el genotipo determina a los fenotipos, a los ambientes agrícolas correspondientes y hasta las culturas humanas. La simplicidad (y la promesa asociada de poder y rapidez) en el nombre de la “evidencia científica” establece la complejidad y la diversidad de cada situación y la erradica.

El hecho de que la ciencia moderna se ha utilizado con enormes consecuencias para la mayoría de las áreas de la actividad humana, que se ha modelado con una visión normativa y de acuerdo a compromisos que no se perciben como lo que son —elecciones humanas cuestionables y debatibles que podrían ser diferentes, con una mayor demanda por una validez racional— no se ha reconocido, de hecho se ha negado agresivamente cada vez que se ha sugerido. En este capítulo explicaré a grandes rasgos algunos de estos compromisos normativos desconocidos que deberían ser motivo de debates democráticos muy ilustrativos, pero que han sido ocultados (no necesariamente de forma deliberada) como si solamente fueran “lo que la ciencia revela de la naturaleza”, y, por ende, un camino que no depende de la elección humana sino del determinismo independiente de la naturaleza. Esta aseveración profundamente ideológica, conflictiva y falsa sobre la que se funda la agricultura industrial moderna, incluyendo a la agricultura GM, debe desafiarse enérgicamente en aras de una mejor ciencia y una agricultura más sostenible.

Otras personas también han obtenido evidencias y argumentos para desarrollar una visión menos reduccionista —tanto en lo que concierne a la ciencia como a las políticas públicas— sobre la innovación y el conocimiento útil. Esta percepción más amplia y más democrática de la innovación enfocada a la sostenibilidad (Leach, Scoones, y Stirling, 2010) no solamente abarca la innovación agrícola, la investigación y el desarrollo científico, sino también las ciencias sociales en las que es necesario desarrollar criterios políticos complejos sobre eficiencia y productividad y erigirlos como norma.

El avance decidido y unívoco de la alta tecnología industrializada y de la agricultura de alto impacto se ha llevado a cabo en el nombre de la ciencia, la razón y la modernidad, con una doble visión publicitaria que pretende salvar a la humanidad de la superstición y la hambruna. Este programa moralista se basa en la afirmación de que, mientras la ciencia moderna y las trayectorias favorecidas de innovación tecnológica de la ciencia de “altura” son independientes de la cultura, cualquier acción humana incompatible con esta forma de producción industrial es problemática, irracional y poco efectiva debido a sus bases culturales humanas. Para asegurar su actividad, esta ciencia, manejada como una gira agrícola comercial e industrial, se presenta al mundo como una “voz aislada” independiente de la cultura (Haraway, 1997) – objetiva, desinteresada e imparcial para los simples intereses humanos. Cualquier tipo de agricultura no alineada totalmente con esta “ciencia sólida” genéticamente fundamentada, propia de sistemas industrializados para la producción de alimentos y capaz de controlar cabalmente la cadena alimenticia humana es, por definición, irracional, ineficiente y proclive a ser “mejorada” por la ciencia, es decir, por la ciencia genómica selectiva que produce cultivos GM. De la misma suerte, incluso los que solamente cuestionan sin oponerse a esta trayectoria de innovación altamente selectiva y tendenciosa, son considerados como “anti-científicos”. Los alegatos de la ciencia moderna tal como han modelado la tecnología agrícola GM —consistentes en afirmar que se trata de leyes de la naturaleza para el desarrollo de objetivos determinísticos, de ciencia pura que no pretende incorporar los imaginarios y los intereses tácitos de la humanidad— deben ser examinados y revelar sus implicaciones.

Debido a todo esto, he tenido que apartarme un poco del objetivo inmediato de este libro, la inmensa importancia de las culturas mexicanas del maíz, para describir las exigencias falaces de los modernos paradigmas tecnológicos y científicos que han instituido escenarios político-económicos y tecnológicos para cambiar a la agricultura mexicana. Estos reivindican la pureza racional de sus trayectorias de innovación científica y la independencia cultural de sus premisas y compromisos normativos —que serían muy discutibles si se reconocieran por lo que son. La necesidad de estudiar estas demandas desde un punto de vista científico, y no sólo por derecho humano, demuestra que la agricultura y los agricultores han sido rebasados por la visión científico-industrial de la agricultura moderna que los ha arruinado utilizando falsamente la idea de la liberación promovida por la ciencia inocente e informada

que supuestamente traería consigo diversidad, opciones de pluralidad y trayectorias de innovación. Esta ciencia molecular “pura” y “sólida” ha sido de antemano determinada por premisas como la de los propósitos de prioridad social de la ciencia, concretamente el desarrollo de formas de “control” biológico que correspondan con el control de las ganancias comerciales de un puñado de gigantes de agroquímicos globales que controlan la cadena de suministro alimentario y sus recursos clave —las semillas, los conocimientos y el uso de la tierra—. La creación global de los derechos de propiedad intelectual ha sido un factor muy importante para consolidar esta concentración en el control y en la restricción de la innovación agrícola (Heinemann et al, 2013; Mirowski, 2011). Esto requiere de la externalización y la devaluación, como si no fuera de relevancia, de grandes partes de la complejidad biológica, así como de la historia agrícola y cultural, de las persona y de sus familiares. Esto, a su vez, impone consecuencias normativas enormes y problemáticas, hasta posiblemente fatales, aunque efectivamente descartadas, para la agricultura tradicional y sus posibles desarrollos sostenibles a futuro y de seguridad alimentaria global.

En resumen, el punto de vista determinista de que la ciencia simplemente revela y de que no está moldeada ni permeada por la cultura, es una falacia —muy perjudicial cuando se trata de la seguridad y de la soberanía alimentaria global. Este punto de vista consolidado sobre la ciencia neutral e independiente de la cultura nos ciega a las formas mediante las cuales el desarrollo del conocimiento de la ciencia, en especial bajo la revolución genómica y molecular en la que los genetistas tejieron visiones utópicas en los años 70, ha sido restringida y reducida a través de las fuerzas hegemónicas de la economía neoliberal. En lugar de estimular el desarrollo de más vías científicas con una mayor diversidad de innovaciones potenciales para las necesidades públicas, la investigación se ha limitado y restringido y la innovación se ha conducido de una forma selectiva, incluyendo a la biociencias relacionadas con la agricultura. Al mismo tiempo, las agriculturas tradicionales, cuyas largas historias han cultivado, tanto biológica como culturalmente, los recursos del germoplasma de los que depende la seguridad alimentaria global del futuro, y que han desarrollado sistemas resistentes y multi-funcionales para las cosechas, desarrollo, intercambio y conservación de semillas, son erróneamente ignoradas como a-científicas y, por lo tanto, despreciables en cuanto a

su capacidad de devenir en la base potencial de innovación agrícola y desarrollo.

Para poder alcanzar los objetivos generales más ambiciosos de este capítulo, en la siguiente sección proporcionaré un resumen sobre los cambios clave en las relaciones político-económicas de las ciencias biológicas en décadas recientes —cambios que han reestructurado su relación con la política y ampliado su esfera pública; aunque también han influenciado su cultura intelectual de manera correspondiente y crucial. Estas transformaciones todavía no son completas, ni claramente comprendidas; existe una necesidad profunda y urgente de discutir las para explotar la versatilidad intrínseca del conocimiento científico como un recurso potencial del bienestar humano global.

Algunos cambios clave en las biociencias: los últimos veinticinco años y más

En la Tabla 1 se resumen algunos cambios claves en los últimos treinta años de la ciencia moderna que no se han contemplado ni en la políticas públicas ni en las políticas de desarrollo:

Tabla 1: algunos cambios en la ciencia a finales del siglo XX

-
- Se representa como interventora (*tecno-ciencia*) – Hacking, 1983; Rheinberger, 1997 (sombras de Francis Bacon, 1587³). La curiosidad básica está subordinada de forma más sistemática a la visión tecnológica, al diseño y a la investigación y el desarrollo.
 - Revolución Neoliberal (global), el conocimiento científico como un factor clave de la producción económica/extracción del valor financiero (Mirowski, 2011).
 - “Industrialización” de las ciencias físicas y biológicas: la curiosidad satisface la producción (económica).
 - Mercantilización no sólo del conocimiento *material* sino del rendimiento *prometido*
 - Economía de las promesas...materialización de la imaginación, incluyendo necesidades sociales imaginadas selectivamente y beneficios. La ciencia (genómica) como agente clave (eg Fortun, 2009).
 - Culturas comerciales interiorizadas hacia la ciencia (“epistémica extractiva”...).
-

³ Esta nota histórica enfatiza que los cambios a los que me refiero no son enteramente nuevos; sin embargo sí constituyen una nueva e importante intensificación e incremento de fuerzas en la ciencia de finales y posteriores al siglo XX, y que éstas siempre la han remodelado, aunque nunca antes de una forma tan sistemática y significativa.

Tabla 1: (continuación)

- Los derechos de propiedad intelectual de la cultura dominan la investigación, no sólo en sus usos, sino también en la elección y la dirección de la investigación y el desarrollo, y, debido a ello, también en la imposición de trayectorias socio-económicas.
 - Modo-2... (usuarios de políticas públicas e industriales, inversionistas, creadores de instrumentos, indígenas, incluso sociólogos como actores del conocimiento; Gibbons *et al.*, 1994)
 - Organización instrumental de gran tecnología para la investigación - “creación de plataformas”; “post-disciplinariedad”; productividad de datos *per se* se convierten en los criterios fundamentales de ¿la buena ciencia?
 - La primacía de la precisión molecular como ciencia superior, como si esto igualara al control sistémico y al entendimiento.
 - Internalización de la autoridad pública del “estado de emergencia” de la ciencia. Déficit público como explicación del disentimiento.⁴
-

Vale la pena comentar el fracaso rotundo respecto a diferenciar entre la ciencia pura y la ciencia aplicada como un medio de entendimiento de las complejas realidades que siempre han predominado en la relación ciencia-sociedad. Así pues, la declaración histórica de Vannevar Bush (director de la oficina gubernamental estadounidense para la investigación científica) dirigida en julio de 1945 al presidente Eisenhower y titulada “La ciencia: el horizonte infinito”, declaración que, desde entonces, ha funcionado como inspiración para las políticas públicas en torno a ciencia de los Estados Unidos y nacionales, combinaba libremente las admoniciones de la ciencia pura con el requisito auto-contradictorio de que esta ciencia supuestamente autárquica y completamente libre, se dedicara a fines tecnológicos bien definidos. Este razonamiento proviene de una declaración hecha por Francis Bacon en el siglo XVI en el *Novum Organum* de 1587, ampliamente acreditada como la inspiración de la revolución científica (Libro 1, aforismo 2): “Ahora estas dos direcciones —una activa, la otra contemplativa— son una y la misma cosa; y lo que es más útil en el funcionamiento, en el conocimiento es más verídico”.⁵

⁴ Aquí no hay espacio para explicar esta dimensión. Los interesados pueden consultar a Wynne, 2006; Welsh y Wynne, 2013.

⁵ Hacking (1983) describió las profundas dependencias antiguas de los logros científicos representativos, por medio de intervenciones en esa misma naturaleza que es representada objetivamente.

El reporte Bush empieza con estas refinadas palabras:

“Desde un punto de vista amplio, el progreso científico es el resultado del “juego libre” de “intelectos libres” que trabajan en temas de su propia elección, como se los dicta su curiosidad por el estudio de lo desconocido. Debe preservarse la libertad de la investigación bajo cualquier plan gubernamental de apoyo a la ciencia”

Pero inmediatamente articula las prioridades nacionales que esta investigación científica “libre” debía perseguir: la supremacía militar, que pronto ascendería al amenazante Armageddon de la guerra fría, en defensa de la libertad en contra del comunismo; “la guerra contra las enfermedades” (que en 1970 Nixon transformó en “la guerra contra el cáncer”), entre otro tipo de comodidades materiales reiteradas para unos ciudadanos concebidos como consumidores. Esta serie de prioridades fueron diseñadas para aplicarse en el seno de los baluartes de la ciencia pura, las universidades, no solamente para llevarse a cabo en los laboratorios y otros centros de investigación del gobierno que recibirían fondos gubernamentales para ello. Esto, por supuesto, parecía ser una ciencia un tanto diferente a aquella descrita como “el “juego libre” de “intelectos libres” que trabajan en temas de su propia elección, como se los dicta su curiosidad por el estudio de lo desconocido”. Estas contradicciones manifiestas eran ignoradas y, por lo tanto, rechazadas; y esto es lo que sigue sucediendo hasta el día de hoy.

Bush articuló lo que se ha convertido en la versión estándar de la pureza de la ciencia en relación a sus necesidades y objetivos aplicados:

“Las escuelas, universidades e institutos de investigación públicos y privados son los centros de la investigación básica. Son las fuentes del conocimiento y del entendimiento. Mientras sean vigorosas y saludables y sus científicos tengan la libertad de buscar la verdad dondequiera que ésta los lleve, existirá un flujo de nuevo conocimiento científico para aquellos que puedan aplicarlo a problemas prácticos en el gobierno, en la industria o en cualquier otra parte”.

El mantra clásico avala una completa libertad y autonomía para la ciencia “pura” y básica, y solamente a través de este conocimiento-producción científico puro —“dondequiera que éste los lleve”— se imaginarán aplicaciones y se explorarán experimentalmente por medio de la ciencia aplicada pos-básica. No se reconocerá la influencia retro-

activa de usos y aplicaciones imaginados en la concepción, planeación y conducción de la investigación científica pura. De acuerdo con esta visión común, los científicos no serán responsables de la *tecnología y sus consecuencias* —que surgen después de la investigación y son, por lo tanto, responsabilidades de las formas de gobierno de la *sociedad*, no de la ciencia. Tal como han observado los científicos políticos (Ezrahi 1990), en los tiempos modernos la ciencia ha obtenido su legitimidad social precisamente a partir de estas tecnologías generales de producción. Además, como la ciencia pura es curiosidad y la impulsa la mejor calidad científica, los asuntos democráticos sobre prioridades y cuestiones que debe tratar de resolver el trabajo científico no son significativos ni legítimos. Las instrucciones y las agendas de la investigación son responsabilidad de la ciencia y no del gobierno o de la sociedad civil. De hecho, la mezcla que hace Bush entre la libertad de la ciencia y las orientaciones normativas vigorosamente explícitas para sus aplicaciones sociales fue una aceptación tácita de la extrema porosidad de esta frontera. Sin embargo, la naturaleza de esta porosidad y el intento de rechazarla en su versión convencional requiere de más explicaciones.

En este esfuerzo clásico por marcar fronteras en el que se pretende aislar a la ciencia básica impulsada por la curiosidad de la ciencia aplicada, se sugiere que la investigación es ciencia básica o pura porque produce nuevas inferencias científicas de procesos biológicos básicos. Entonces, se sugiere que no puede estar influenciada por compromisos normativos como las aplicaciones de los imaginarios sociales, sus usos y sus beneficios. Ésta es una falsa dicotomía. Los historiadores de la ciencia (eg Edgerton, 2010; Pistorius, 1997) han demostrado cómo se ha conducido la investigación a través de tecnologías de producción imaginadas (como la máquina de vapor del siglo XIX) y esto ha sido una contribución significativa para el entendimiento científico básico (de la termodinámica). Uno podría decir lo mismo sobre los avances en epigenómica y en biología molecular, debidos a la investigación aplicada enfocada en tecnologías como la ingeniería genética de los cultivos. La historiadora de la biología molecular Lily Kay (1993) ha documentado lo que ella llama la calidad “orientada hacia el cumplimiento de una misión” de lo que, desde los años 30 hasta la fecha, se conocía como ciencia pura o básica. El asunto no es si el entendimiento básico es avanzado, sino cuáles son los imaginarios normativos y sociales que están inspirando la combinación de la investigación y del desarrollo básico-aplicado, aún ocultos y abandonados y, por lo mismo, inexpli-

cablemente en desarrollo. Esta confusión de la ciencia como “pura” o básica”, a pesar de estar imbuida de compromisos normativos hacia una imaginada misión social particular, permite que se malinterprete como si estuviese determinada únicamente por la naturaleza, lo que significa que, mientras una trayectoria científica y normativa prevalezca hegemónicamente, las agendas y las trayectorias de innovación alternativas con sus consecuencias sociales ni siquiera se imaginen y mucho menos se reconozca la importancia de explorarlas prácticamente, bajo la etiqueta exclusiva y falsamente neutral de ciencia básica.

Este modelo simple de una distinción clara entre ciencia básica y aplicada solamente asume un flujo unidireccional y un traslado de la investigación para satisfacer la curiosidad en investigación aplicada e innovadora, de tal forma que la ciencia pura pueda ser asumida permaneciendo libre de cualquier tipo de dirección humana. Esto se ha convertido en el mantra casi universal e incondicional de los actores de la política científica. La frontera entre puro y aplicado se toma como si tuviese una connotación clara y absoluta, los financiadores, patrones, usuarios y accionistas con sus ambiciones y deseos no pueden regresar a cruzar la frontera hacia la investigación básica. Debido a que a los mismos investigadores científicos ahora se les exige articular promesas sobre los resultados específicos aplicados y sobre el impacto de sus investigaciones, con el objetivo de conseguir financiamiento para lo que todavía se denomina “investigación básica”, y, además, con el fin de conducir, administrar, echar a andar compañías comerciales y ofrecer consultorías para intereses comerciales comprometidos tecnológicamente, este modelo parece *prima facie* inocente y engañoso.

La versión de Kay sobre una visión normativa de aplicaciones imaginativas que moldean a la biología molecular incluía la convicción científica de que los procesos genético-moleculares determinan todas las propiedades conductuales significativas a nivel fenotípico, es decir, organísmico. La idea de que el ADN tiene un control que va, de manera ascendente, desde el nivel molecular de la organización biológica hasta los niveles organísmicos y ambientales, se ha combinado con la convicción más tardía de la biología molecular del siglo XX que sugiere el control total de la ciencia sobre el ADN a través de la ingeniería de manipulación. Así lo expresó Kay (1993:37):

“Una biología gobernada por la fe en la tecnología y en el poder total de la causalidad ascendente es mucho más susceptible a las estrategias

de control que la ciencia de la causalidad descendente, donde los elementos no pueden ser entendidos si se separan del todo. Hay un sentido seductor del poder en la ideología científica donde las complejidades de los niveles más altos pueden ser totalmente controladas si se domina la simplicidad de los inferiores. El surgimiento de la biología molecular representaba la selección y promoción de un tipo particular de ciencia: una cuya forma y contenido se ajustaba al amplio patrón dominante del saber y el hacer. La visión molecular de la vida era un ajuste óptimo entre la visión tecnocrática de la ingeniería humana y las representaciones de la vida basadas en la intervención tecnológica, una resonancia entre la imaginación científica y la visión social”.

Kay documentó este paradigma de la ingeniería molecular promovido tanto científica como políticamente por Caltech y la Fundación Rockefeller:

“Los compromisos epistémicos subyacentes de la biología molecular sobrevivieron el cambio paradigmático de una base proteica a una base de ADN —y sobrevivieron el cambio de patrocinio (de fundaciones de caridad privadas como la de Rockefeller a financiamiento industrial y público). La premisa de que el *soma* y la *psyche* son esencialmente el resultado de la actividad de macromoléculas genéticamente determinadas y de que estos mecanismos de causalidad ascendente (del gen como molécula, a organismos completos) deberían ser la base fundamental para intervenir en los procesos de vida de orden superior, ha adquirido aun mayor vigor intelectual y legitimidad social al verse reforzada por intereses institucionales y comerciales que controlan los millones de dólares de la Fundación Rockefeller (Kay 1993).

Esto ocurrió en 1993, antes del gran asalto comercial de la agricultura GM en los Estados Unidos, Canadá y otros sitios en 1996. La economía comercial se apoderó de la cultura del reduccionismo de la biología molecular y de la consiguiente erradicación de las agendas científicas y reguladoras de cualquier factor, actor o vida que no correspondieran con este paradigma molecular determinista y reduccionista; apenas empezaba a desarrollarse como un programa global político-económico y tecno-científico. Se arraigaba y se reforzaba por el dogma dominante del papel central del ADN de acuerdo al cual un gen codifica una proteína, y ésta genera una característica orgánica. Las complejidades biológicas no-reduccionistas eran evidentes mucho antes de que se completara el primer borrador del mapa del genoma humano

en 2001, cuando se descubrieron menos genes de los esperados para mantener el dogma central simple de la relación de uno-a-uno gen-proteína, aunque esto se ha incrementado en su alcance, significado y reconocimiento científico desde entonces. Todavía se espera un claro reconocimiento de su existencia por parte de las culturas científicas reguladoras que se establecieron a principios de los años 90 bajo la regla suprema del dogma central, actualmente anticuado.

La tecnología del ADN recombinante de los años 70 no se creó mediante investigación científica básica, sino a través de investigaciones diseñadas fundamentalmente para analizar la producción de intervenciones tecnológicas controladas a nivel genético. Esto dio como resultado una comprensión básica sobre los procesos biológicos a ese nivel, pero fue el subproducto de un procedimiento creado con propósitos más bien tecnológicos y comerciales, y no como fruto del conocimiento libre e impulsado por la curiosidad, tal como el mito dominante de la ciencia autónoma e independiente lo sigue describiendo. La tecnología del ADN recombinante, su desarrollo y las pruebas comerciales utilizadas en ese entonces para los cultivos, la alimentación y los alimentos se comercializó ampliamente (aunque de forma restringida) en los años 90. Todo el desarrollo ambiental y social de esta tecnología, *además de la estructuración y el establecimiento de estrategias, agendas y métodos para una evaluación científica de riesgos orientada a la protección*, se llevó a cabo antes del reconocimiento tardío (mapeo del genoma humano del 2001) sobre la importancia de la epigenética-epigenómica y de la complejidad de los sistemas biológicos. Esta investigación posterior a la tecnología y a la comercialización demostró que la sabiduría convencional de los métodos de evaluación de riesgos fundamentados en el dogma central en torno a que la relación gen-función es estable, reproducible en condiciones variables y predecible, es una “ciencia poco sólida” para la investigación científica, aunque “sólida” en el caso de los procesos de política pública.

Entonces, ¿cuál es la ciencia adecuada?, y ¿dónde está la ciencia básica? ¿Ocurre antes de su aplicación, como propone el modelo clásico? ¡Para nada! Lo que se denomina ciencia básica inocente, neutral e independiente, ya está imbuida de imaginarios con una ponderación normativa con resultados sociales deseados; aunque estos sean amplios y generales como los descritos por Kay para la biología molecular. En el campo de la biología de proteínas que le precedió y que se fue desarrollando junto a la genómica, Rheinberger (1999) la ha caracterizado de la siguiente manera:

“Con la posibilidad de poder manipular el programa de producción genética de un organismo con componentes modificados o no, un biólogo molecular actuando como un ingeniero está violando el paradigma de trabajo de los bioquímicos y genetistas clásicos. Ya no controla condiciones en un tubo de ensayo donde se analizan las moléculas y las reacciones de un organismo. Todo lo contrario: ...usa el entorno celular como si fuera una incrustación técnica apropiada. El organismo intacto se convierte en un laboratorio. Ya no es la representación extracelular de procesos intracelulares, *i.e.* el entendimiento de la “vida” lo que importa, sino más bien la representación intracelular de un proyecto extracelular, una deliberada “re-escritura” de la vida...esta intervención tiene como objetivo *reprogramar* las acciones moleculares, no sólo interferir con ellas (Rheinberger, 1999, p.25)”.

Así describe él los enfoques tecnológicos de lo que engañosamente se denomina ciencia molecular “básica” en términos similares a los de Kay utiliza, destacando la ampliación posterior de la intervención tecnológica para la reprogramación de funciones biológicas, desde el nivel molecular hasta los niveles de las características organísmicas. En una elaboración ulterior sobre las normativas comerciales a utilizarse en el futuro para impulsar estos programas tecno-científicos, Mack (2004) explica cómo pueden comercializarse exitosamente las interacciones de la complejidad emergente de la epigenómica y la ecología de genes:

“Con un enfoque vertical que caracteriza a la biología de sistemas actualmente – se dedican a los estudios de vías porque el número de vías de desarrollo molecular es más manejable, con 150 como máximo frente a números inmanejables de 30,000 genes y 250,000 proteínas – los investigadores comienzan a nivel fenotípico o al nivel de los eventos de una enfermedad y examinan a fondo las vías funcionales para conocer lo que importa en un desorden específico, porque ese es el fenotipo enfermo que quieren cambiar”.

Al demostrar claramente que esta supuesta investigación molecular básica - “el juego libre de intelectos libres que trabajan en temas de su propia elección, como se los dicta su curiosidad por el estudio de lo desconocido”, tal como Bush describió la ciencia – se moldea selectivamente de acuerdo a propósitos terapéuticos prácticos, y no de acuerdo a la curiosidad ni a la libertad en la exploración, Mack (2004) ha definido los propósitos de impulso social que inspiraron la supuesta libertad en la investigación molecular:

“acelerar el descubrimiento y el desarrollo de fármacos, volverlo más eficiente” y “utilizar la información de los conjuntos de datos dispares para crear modelos computacionales que puedan describir y predecir fenotipos a nivel de célula, tejido u organismo [con el fin de poder ayudar al desarrollo comercial de los fármacos]” —para que “los biólogos de sistemas obtengan resultados tangibles y los muestren a los inversionistas”.

Esta “perforación” de la ciencia molecular ha resonado al unísono con otro tipo de perforación —el petróleo y el gas. El enfoque selectivo sistemático es identificar aquellas vías moleculares que conduzcan a productos comercialmente lucrativos. Podría llamarse, no tecnología extractiva, sino “epistémica extractiva” en cuanto cultura intelectual total de la ciencia. Además sugiere lo que he identificado anteriormente, a saber, la potencial generación de una sistemática ignorancia científica a través de esta cultura de generación del conocimiento, ya que solamente algunas vías particulares son consideradas como sobresalientes, mientras que las demás deben, por lo mismo, ser abandonadas. Bien podría ser que algunas probables fallas biológicas puedan surgir en el futuro como efectos secundarios dañinos y que emerjan precisamente entre estas realidades biológicas desdeñadas. Y sin embargo, nadie asumiría la responsabilidad de cualquier posible falla, porque la “ciencia de vanguardia en boga” no se equivoca. La visión sistemáticamente selectiva de esta ciencia básica y, por lo tanto, sus puntos ciegos sistemáticos, serán suprimidos y se promoverán las innovaciones subsecuentes como provenientes de una ciencia sólida.

Incluso un organismo público de financiamiento de la ciencia, como es el Consejo para la Investigación de la Ciencia Biológica y Biotecnológica del Reino Unido (BBSRC), demuestra el dominio total de los objetivos tecnológicos en la investigación en ciencia básica —lo que el BBSRC ha denominado ambiguamente desde los años 90 “La Base de la Ciencia”. Fue así que, en su publicación del 2003 sobre una visión de los diez años de la biología de sistemas, reconoce, de una manera encomiable, un significativo desconocimiento científico en estos términos (UK BBSRC, 2003):

“Subyacentes a todo nuestro entendimiento sobre biología y biomedicina y a nuestra capacidad de aplicar la biología pos-genómica de forma confiable, están estas dos grandes “incógnitas” reconocidas:

- No se tienen indicios sobre la función de aproximadamente un tercio de los genes de la mayoría de los organismos y de casi todos los demás sólo existe información limitada. Hasta que no se comprenda a profundidad la función de estos genes, no se entenderán los procesos implicados en la constitución de una célula viviente y mucho menos de un organismo completo.
- Ahora es evidente que los mecanismos mediante los cuales los genes se “prenden” o se “apagan” son mucho más complejos de lo que se había pensado. El entendimiento de la precisión que proporcionan los controles epigenéticos será crucial para el desarrollo de una ingeniería de tejidos eficiente y para la bionanotecnología...”

No se trata de argumentar si los fines sociales previstos de una manera explícita por este tipo de investigación son valiosos o no. Podrían serlo y de una forma impecable. El punto es que los objetivos sociales están limitando la exploración científica que aun se plantea como investigación libre e impulsada por la curiosidad!

Todo este campo combinado de investigación y desarrollo científico dedicado a la creación de riqueza comercial a través de la definición políticamente impuesta de “ciencia para el bienestar público” y, como su contraparte, la autoridad pública que regula su producción a través de un marco estrictamente limitado (también políticamente definido) de evaluación de riesgos científicos, se conoce como cultura racional. Se promueve ansiosamente como la *única cultura racional* de la investigación y el desarrollo, de la innovación y de políticas públicas, a la que ningún planteamiento alternativo serio puede oponerse. Aun así personifica contradicciones descaradas, además de la afirmación ulterior, en el caso de la investigación y el desarrollo de la agricultura genómica, de que se trata de una condición absolutamente esencial en la producción global de alimentos y en la evasión del hambre, no habiendo ninguna otra alternativa imaginable.

En la agricultura global las ciencias alternativas no-reduccionistas que se integran a las condiciones y conocimientos de los agricultores no han recibido reconocimiento como sabiduría pública potencial, han permanecido sin financiamiento y sin desarrollo; mientras que los factores excluidos por la visión sistemáticamente reduccionista de la tecnociencia GM han sido ignorados y devaluados. Los factores rechazados y abandonados no eran exclusivamente biológicos, como la resistencia a plagas o la degradación del suelo, y las tecnociencias aclararon que no eran su responsabilidad, sino de los agricultores. Asimismo, externaliza-

ron la destrucción que esta producción de monocultivos industrializada y de alto rango industrial e intensivo ha ocasionado en las agriculturas desaceleradas, más complejas, basadas en un conocimiento más difuso, más trabajoso, pero también más sostenible y de mayor complejidad biológica de los agricultores.

Recuperando la complejidad, la razón y la innovación sostenible

Como han demostrado algunos investigadores (der Ploeg, 1993), esta última clase de agricultura de cultivos diversificados, con menor aporte de sustancias químicas externas, mecánicas y de energía, implica tanto o más conocimientos-intensivos que las llamadas ciencias-intensivas para la agricultura industrial. Se trata de una forma de conocimiento diferente, no se reconoce como ciencia porque no está suficientemente orientado al control y al reduccionismo, de tal forma que no parece preciso, siendo la precisión el principio epistémico que define la cultura científica moderna adornada por los imaginarios del mercado comercial. Además, este tipo de conocimiento es menos confiable porque no puede ser controlado como un objeto de propiedad y explotación, menos aún asociado a un propietario particular (una corporación como individuo legal). Este conocimiento holístico se comparte como un recurso cultural colectivo y no se transmite como dogma sino como una cultura colectiva de aprendizaje experimental y empírico que no es mercantizable y que, de hecho, es completamente insignificante en cuanto propiedad intelectual. Van der Ploeg describe cómo esta cultura epistémica, en su caso la de los agricultores de papas andinas que, al igual que el cultivo del maíz mexicano autóctono, tienen un centro de origen global y una diversidad en su germoplasma que es crucial a largo plazo, contrasta profundamente con la cultura de los mediadores de la industria científica. En el caso del maíz, demuestra que la estrategia es optimizar la construcción genética para una productividad a corto plazo, que se produzca en el laboratorio, tenga mercado y se difunda universalmente, para que posteriormente puedan manipularse las condiciones agrícolas y ambientales mediante fertilizantes y pesticidas químicos, tiempos de exposición, tipos de irrigación, suelos, etc. y así promover la estandarización y el control del ambiente como si fuera un laboratorio universal con condiciones de producción *óptimas*. Estas condiciones requieren de una inversión intensiva, costosa, demandante y muy difícil de alcanzar,

se necesitan esfuerzos extremos para trasladar esta “fantasía” del laboratorio al campo y *¡a todas partes!* Después de unos cuantos años de utilizar esta propuesta científica, prometedora y de control estratégico de la industria, el rendimiento disminuyó drásticamente. En lugar de esta cultura de control, los agricultores indígenas de la papa estaban familiarizados con las diversas condiciones de su localidad y nunca consideraron controlarlas; trabajaron con ellas y desarrollaron diversas variedades de semillas optimizadas de acuerdo a diferentes condiciones locales —micro-clima, agua y suelo, sol y sombra, tendencia de pestes, etc.— y de acuerdo al conocimiento de los resultados obtenidos con las diferentes variedades en diversas condiciones. La optimización resultó ser más compleja y sus ideas sobre productividad reflejaban un entendimiento multivariado aunque modesto.

Van der Ploeg también destacó que este conocimiento cultural localizado expresaba y practicaba una perspectiva de normativa temporal diferente, porque estos agricultores daban por sentado que la producción a largo plazo, compartida y colectiva, además de la combinación de condiciones que la sustentan, son la fuerza promotora, y no la producción a corto plazo y con rendimientos no sostenibles. Parte de esta sostenibilidad a largo plazo tiene un significado cultural instintivo que supone que la capacidad de conocimiento debe ser difundida y extendida colectivamente y no social y humanamente concentrada de una forma que podría implicar la pérdida de esa capacidad de conocimiento en la sociedad en general. Esto contrasta enormemente con la filosofía de las ciencias-intensivas para la agricultura industrial en el caso del maíz de México, ya sean OGMs o híbridos previos, donde la diversidad de las semillas y la agrobiodiversidad están restringidas biológica, cultural y socialmente; donde la distribución colectiva de la capacidad de conocimiento práctico de los agricultores para estas condiciones de sostenibilidad a largo plazo ha sido suprimida por el avance biológico reduccionista y por la miopía de los programas de ciencias-intensivas para la agricultura molecular (orientados al control selectivo). Estas pérdidas biológicas y culturales en las condiciones de sostenibilidad podrían ser reversibles, si existiera el compromiso y el poder para hacerlo, pero esto tendría un costo enorme si se hubiera suprimido por completo tanto la sostenibilidad a largo plazo como las condiciones para el conocimiento.

Los científicos sociales utilizan un término mucho más exhaustivo, “tecnociencia”, y no la distinción entre ciencia pura y aplicada, para

reconocer que todas las ciencias, incluyendo la “pura” y la “básica”, tienen ambiciones e imaginarios tecnológicos, provisionales y plurales, o más resueltos y directos, difundidos y selectivamente dirigidos, incluso aunque lo nieguen (Kleinman, 2003). En este ambiente existen otros asuntos que la investigación científica básica debería abordar y que ni siquiera se han imaginado o preguntado, mucho menos contestado.

Este modelo sencillo en el que hay una distinción clara entre ciencia básica y aplicada supone un flujo unidireccional y el traslado de la curiosidad “pura” a la investigación e innovación aplicadas, de tal forma que la ciencia pura pueda mantenerse libre de cualquier tipo de orientación humana. Esto se ha convertido en el mantra casi universal e incondicional de los actores científicos y políticos de la ciencia. La frontera entre puro y aplicado es clara y absoluta, sin importar lo que busquen o deseen financiadores, patrocinadores, usuarios y otro tipo de accionistas y, una vez cruzada esta frontera, ya no es posible regresar a la investigación científica básica.

Debido a que ahora se requiere que los investigadores científicos hagan promesas sobre el impacto de sus resultados en una ciencia aplicada específica con el fin de poder conseguir fondos para lo que todavía se llama investigación “básica”, además de conducirla, administrarla y echarla a andar a través de compañías comerciales o de especialistas privados comprometidos tecnológicamente con intereses comerciales, este modelo parece *prima facie* inocente y engañoso.

Aquí vale la pena resaltar algunas distinciones entre diferentes formas de ciencia que se confunden gratuitamente, no sólo por los medios de comunicación o los actores políticos, sino por los propios científicos que reivindican su autoridad en la ciencia, y, como provienen de adentro, se presupone falsamente que son los mejores conocedores de su oficio profesional. He insistido en la muy utilizada aunque poco justificada distinción entre ciencia pura (básica) y aplicada. Las diferencias entre lo que yo denomino “ciencia orientada a la producción” y “ciencia orientada a la protección” es muy importante y frecuentemente ignorada. Cuando se hace referencia a la “ciencia” sin calificarla, la idea implícita de conocimiento científico puro y desinteresado abarca a ambos; pero oculta el hecho de que la mayor parte de la investigación científica es concebida, financiada y realizada con un propósito de *producción* —nuevos fármacos para la salud (un imaginario particular) o de nuevos cultivos para la agricultura. Un ejemplo sería la erogación de 1.8 billones de dólares para investigación biotecnológica de 1992 a 2002 por parte del

Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Sólo aproximadamente el 1% de este capital se destinó a la protección⁶ (Heinemann, Quist, *et al.*, 2013).

Conclusiones

En este capítulo he esbozado un marco de referencia más amplio sobre el caso particular y muy importante de la agricultura global del maíz mexicano. He enfatizado de una manera específica las relaciones asimétricas de la economía política en lo que se ha vuelto el programa de modernización intensiva de la ciencia para la producción agrícola. Estas relaciones arbitrarias han determinado el conocimiento, la práctica científica y sus vías de innovación, de una manera sustancialmente poderosa, selectiva y exclusiva. Las premisas que impulsan esta visión de transformación agrícola son sumamente problemáticas y requieren retos y revisiones. Las trayectorias de innovación dan una imagen falsa y se practican como si estuvieran científicamente definidas y no elegidas social y políticamente. Este mito abrumador y profundamente normativo de la ciencia está muy bien explicado por Jacques Barzun (1961), en el prólogo del libro de Stephen Toulmin, *Previsión y Entendimiento: una exploración de los objetivos de la ciencia*: “Puede decirse que la sociedad occidental de hoy protege a la ciencia como a un dios extranjero, poderoso y misterioso”. Estos devotos misterios ocultan al emperador desnudo de la economía política del neo-imperialismo instigado por la empresa científica y comercial de los cultivos y alimentos GMS impuestos en el mundo. No se trata solamente de una conspiración comercial, científicos influyentes y poderosos actores políticos lo han asimilado y lo reproducen. Tal como Vanloqueren y Baret (2009) lo describieron claramente, este paradigma de innovación científica y agrícola está mutuamente reforzado por otros compromisos institucionales tales como los regímenes de derechos de la propiedad intelectual, el control comercial concentrado del desarrollo, la distribución y mercadotecnia, las

⁶ Estas distinciones no pueden manejarse como absolutamente incuestionables, lo que R&D considera como orientado a la protección, algunas veces puede incrementar el entendimiento y la práctica de la protección y viceversa. A pesar de la carencia de precisión, la distinción sigue siendo significativa.

culturas epistémicas que definen la precisión y el control reduccionista sobre el conocimiento holístico y específico para cada situación como una mejor ciencia y los acuerdos globales comerciales y mercantiles que incentivan a la agricultura basada en monocultivos industriales GMs y que subsidian el uso de combustibles fósiles esenciales. Es por esto que las alternativas para opciones de innovación agrícola sostenible se quedan fuera, sin un análisis razonado y una deliberación inclusiva, debido a ventajas arbitrarias que se envuelven bajo un manto de progreso científico y necesidad.

El paradigma molecular, cuando es utilizado de una manera cultural, económica e institucional reduccionistas, lo cual no necesariamente debería ser así, se vuelve parte de estas premisas problemáticas. Las tecnologías ciencia-intensivas de genómica de plantas, así como la selección asistida por marcadores, no se han trabajado ni integrado como debieran, con la ayuda de sistemas tradicionales de cultivo de plantas y desarrollo de semillas autóctonas y con otras condiciones, conocimientos y necesidades de los pequeños agricultores. Esto ha ocurrido porque no son lo suficientemente atractivas para los actores político-económicos dominantes que obtienen mayores beneficios de la concentración y explotación de los derechos de propiedad intelectual que favorecen las diferentes trayectorias moleculares de la innovación GM. Las autoridades de regulación del gobierno en el mundo, no sólo de los países en desarrollo, entre los cuales algunos como México tienen culturas antiguas y fuertes que han mantenido de una forma colectiva al germoplasma y a la diversidad genética, han sido débiles en el requerimiento de estándares apropiados para pruebas científicas abiertas sobre materiales de cultivo corporativos, datos y expedientes, debido quizá a que tienen culturas científicas fuertemente entretejidas con inversiones de corporaciones privadas en R&D y otros imaginarios de innovación. Han estado poco dispuestos a enfrentar a esos enormes intereses globales y privados de investigación y desarrollo intensivo; al invertir en la agricultura nacional, su R&D intensivo puede verse amenazado por un traslado a otro contexto nacional competitivo. Incluso los sistemas políticos del mundo desarrollado, como es el caso del Reino Unido, se comportan de esta manera.

Sin embargo, aún antes de abrir la cultura científica molecular al análisis de sus flexibilidades inexploradas y redirigirla a la asistencia de otros intereses diferentes a los del mercado global y a los de los actores de los derechos de propiedad intelectual global, existen otros

problemas en la agricultura científica dominante (y su asociación con la economía política reduccionista) que se enmarcan en el contexto del desafío del crecimiento de la seguridad alimentaria global. El primero es que la ciencia, perseguida y apoyada solamente como un factor (concentrado y de restitución a corto plazo) de producción económica, ha definido este desafío en el sentido de incrementar la producción. Como la ciencia ha incrementado su rol no sólo como comunicador político, sino también como justificador de la política pública, por ejemplo en cuestiones de “riesgo” (Wynne, 2006), con el reto alimentario global se vuelve extremadamente difícil fomentar otra perspectiva diferente, que la distribución es justa y no un obstáculo real para los hambrientos del mundo. Además, al contrario de las suposiciones habituales, en el caso del alimento y la agricultura, los sistemas de distribución y producción no son independientes uno del otro. La producción de alimento y la alimentación diseñada para una circulación y un uso local y no para la producción internacional orientada a los mercados va a experimentar menos desperdicio y pérdida, pero también será más accesible para los necesitados. Los sistemas de innovación y producción agrícola multifuncionales y diversificados han introducido una mayor flexibilidad y resistencia frente a cambios impredecibles y probablemente aumentarán el acceso global al alimento. Posiblemente estos sistemas también mantendrán viva la cultura de intercambio y desarrollo del conocimiento colectivo, por sí misma un recurso social clave para una producción y acceso al alimento sostenible.

Así, una ciencia moderada pero efectiva para la seguridad alimentaria global podría ser versátil y diversa, multicultural y cosmopolita, y podría representar un papel importante en las relaciones con nuevas redes de accionistas globalmente diversas a partir de condiciones prácticas desconocidas. Si esta ciencia va a ser reconocida por los guardianes de las ideas predominantes y de los financiadores de los programas para la “ciencia buena”, o si se mantendrá demasiado moderada, menos preparada para externar promesas extravagantes de alta tecnología para los retos globales, demasiado abierta a variables y complejidades específicas y muy dispuesta a reconciliar la carencia de controles precisos, es una interrogante de gran interés. Pero podría no ser la más importante. La pregunta más importante sería sobre la cultura experimental reduccionista de mayor éxito en la historia humana; ¿por qué no intentar un experimento histórico nuevo y transformador —con la colaboración esencial de aquellos cuyas largas historias de conocimientos abundantes

sobre el cultivo colectivo del germoplasma y la diversidad genética para una agrobiodiversidad sostenible han sido agresivamente desautorizados, instigados y asistidos por esa misma ciencia reduccionista?

Referencias

- Altieri, M. (2002), “Agroecology: The Science of Natural Resource Management for Poor Farmers in Marginal Environments”, *Agriculture, Ecosystems y Environment*, vol. 93, pp. 91-112.
- Altieri, M, Funes-Monzote, F.R, *et al*, (2011), “Agroecologically Efficient Agricultural Systems for Smallholder Farmers: Contributions to Food Sovereignty”, *Agronomy for Sustainable Development*, vol. 32, no. 1, pp. 1-13.
- Collard, B y MacKill, D, (2008), “Marker-assisted selection: an approach for precision plant breeding in the twenty-first century”, *Phil. Trans. R. Soc. B*, 12 February, vol. 363(1491), pp. 557-572.
- FAO, (2009), UN Food y Agriculture Organisation, *The State of Food Insecurity in the World*, UN FAO, Rome.
- Gibbons, M, Nowotny, H, Scott, P, Limoges, C, (1994), *The New Production of Knowledge*, London and Beverley Hills, CA: Sage.
- Grove-White, R, Wynne, B, Mayer, S, Macnaghten, P (1997), *Uncertain World: UK Publics y GMOs*, Lancaster University, CSEC (<http://www.lancs.ac.uk/users/csec/>).
- Hacking, I. (1983). *Representing y Intervening*, Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Haraway, D (1997), *Modest_Witness@ Second_Millennium: FemaleMan_Meets_OncoMouse*, New York y London: Routledge.
- Harwood, J. (2009), “Peasant friendly plant breeding y the early years of the Green Revolution in Mexico”, *Agricultural History*, Vol. 83 No. 3 pp. 384-410.
- Heinemann, J, Quist, D, Myhr, A, Aslaksen, I, y Funtowicz, S (2012) “Hungry for Innovation in a World of Food: Contrasting Innovation Pathways From Genetically Modified Crops to Agroecology”, forthcoming, in D. Gee ed., *Late Lessons From Early Warnings, Vol 2*, European Environment Agency, Copenhagen.
- Hobart, M, ed., (1993), *An Anthropological Critique of Development: the Growth of Ignorance*, London y New York: Routledge.

- IAASTD (2009) International Assessment of Agricultural Science y Technology for Development, Synthesis Report, *Agriculture at a Crossroads*, Washington DC: Island Press, final report released April 2008.
- Kamara, M (2009), “The Typology of the Game That American, British y Danish Crop y Plant Scientists Play”, *Minerva*, vol.47, pp.441-463.
- Kay, L. (1993), *The Molecular Vision of Life: Caltech, The Rockefeller Foundation, y The New Biology*, New York, Oxford UK: Oxford University Press.
- Kleinman, D. (2003), *Impure Cultures: University biology y the world of commerce*. Madison, WI: University of Wisconsin Press.
- Lacey, H, (2005), *Values and Objectivity in Science: the Current Controversy About GM Crops*, Oxford UK: Lexington Books.
- Larson, A (2003), “Trade y Development Dimensions of US International Biotechnology Policy”, *Economic Perspectives*, 2003, vol.8:3, pp.1-7. Alan Larson, US Under-Secretary for Business, Economics y Agricultural Affairs. <http://usinfo.state.gov/journals/ites/0903/ijee/larson.htm>.
- Leach, M, Scoones, I, y Stirling, A. (2010). *Dynamic Sustainabilities: Technology, Environment, Social Justice*, Oxford, New York, New Delhi: Taylor y Francis.
- Marris, C, Wynne, B, Simmons, P, Weldon, S (2001), *Public Attitudes Towards Agricultural Biotechnologies in Europe; Final Report of PABE Project*, EU FP6 FAIR Research project, CSEC, Lancaster University (<http://www.lancs.ac.uk/users/csec/>).
- Meyer, C, y Cederberg, C (2010), *Pesticides Use y Glyphosate-resistant Weeds: A Case-study of Brazilian Soybean Production*, SIK Report, #809, Stockholm: Swedish Institute for Food y Biotechnology.
- Mirowski, P, (2011), *Science-Mart: Privatizing American Science*, Cambridge, MA: Harvard University Press, 2011.
- Paddock, W. C. (1970), “How Green is the Green Revolution?”, *Bioscience*, vol. 20(16), pp. 897-902.
- Pengue, W. (2005), “Transgenic Crops in Argentina: The Ecological y Social Debt”, *Bulletin of Science y Technology*, vol. 25, pp. 314-322
- Pistorius, R. (1997), *Scientists, Plants, y Politics: A History of the Plant Genetic Resources Movement*, Rome: IPGRI, International Plant Genetic Resources Institute.
- Pretty, J. (2001), “The Rapid Emergence of Genetic Modification in World Agriculture: Contested Risks y Benefits”, *Environmental Conservation*, vol. 28, pp. 248-262.

- Pretty, J. ed., (2005), *The Earthscan Reader in Sustainable Agriculture*, London, Sterling VA: Earthscan.
- RAFI-UNDP (1994), *Conserving Indigenous Knowledge: Integrating Two Systems of Innovation*, Rural Advancement Foundation, commissioned y published by the UN Development Foundation, New York, September 1994. RAFI was later renamed the ETC Group. <http://www.etcgroup.org/content/bioprospectingbiopiracy-y-indigenous-peoples>.
- Stengel, K., J. Taylor, C. Waterton, y B. Wynne. 2009. ““Plant Sciences y the Public Good.”” *Science, Technology, y Human Values* 34 (3): 289-312.
- Stone, G. (2002), “Both Sides Now: Fallacies in the Genetic Modification Wars”, *Current Anthropology*, vol. 43(4), August-September, pp.611-630.
- Stone, G. (2011), “Field versus Farm in Warangal: Bt Cotton, Higher Yields, y Larger Questions”, *World Development*, vol. 39(3), pp. 387-398.
- Stone, G. (2012), “A Biotech Page Turner”. In *fieldquestions* blog, posted 6 Jan. <http://fieldquestions.com/2012/01/06/a-biotech-page-turner/> (accessed 16 July 2012).
- Toulmin, S (1961), *Foresight y Understanding: An Enquiry Into The Aims of Science*, New York y Evanston: Harper y Row
- van der Ploeg, J.D. (1993), “Potatoes y Knowledge”, in M. Hobart ed., *An Anthropological Critique of Development: The Growth of Ignorance*, London y New York: Routledge, pp. 209-227.
- van der Ploeg, J.D. y van Dijk, G. eds., (1995), *Beyond Modernization. The Impact of Endogenous Rural Development*, Assen, NL: Van Gorcum
- van Huylbroeck, G y Dury, G. (2003), *Multifunctional Agriculture: A New Paradigm for the European Union*, Farnham, UK: Ashgate Publishing.
- Van Kleef, E, *et al.*, 2006, Perceptions of food risk management among key stakeholders: Results from a cross-European study, *Appetite*, vol. 47 (1), pp.46-73.
- Vanloqueren, G, y Baret, P, “How agricultural research systems shape a technological regime that develops genetic engineering but locks out agroecological innovations,” *Research Policy*, vol. 38, pp. 971-983.
- Waters, T (2007), *The Persistence of Subsistence Agriculture: Life Beneath the Level of the Market-Place*, Washington, DC:Lexington Books.

- Welsh, I, y Wynne, B, (2013) “Scientific Imaginaries of Publics y Public Imaginaries of Science”, *Science as Culture*, forthcoming, vol. 22, special issue on “Publics”, eds. M. McNeil y J. Haran.
- Wynne, B, (2001), “Creating Public Alienation: Expert Cultures of Risk y Ethics on GMOs, *Science as Culture*, vol. 10(4), pp. 445-481.
- Wynne, B (2006), “Public Engagement as Means of Restoring Trust in Science? Hitting the Notes, But Missing the Music”, *Community Genetics*, vol. 9, pp. 211-220.



CAPÍTULO 10
ÉTICA Y TRANSGÉNICOS: EL CASO DEL MAÍZ EN MÉXICO



León Olivé, Jorge Linares, Yolanda Massieu y Leonora Milán

Las controversias sociales y los conflictos de valores han sido consustanciales al desarrollo de la biotecnología, pues ésta tiene consecuencias significativas de orden ambiental, sanitario, socioeconómico y cultural.

Dichas controversias son inevitables, debido sobre todo a que en la evaluación de los beneficios, desventajas y riesgos generados por los desarrollos biotecnológicos, particularmente por los organismos genéticamente modificados (OGM), diferentes grupos utilizan distintos tipos de valores y se enfrentan variados y muchas veces opuestos intereses. Así, por ejemplo, en un lado están los representantes de las corporaciones que producen y comercializan las plantas transgénicas (PT), junto con algunos científicos, apoyando estos desarrollos y su uso a campo abierto. Ellos argumentan que esta tecnología mejorará el proceso productivo, disminuirá riesgos ambientales y de salud, y ayudará a mitigar el “hambre en el mundo”. En contraste, muchos de los oponentes, organizaciones no gubernamentales, científicos independientes (algunos de ellos con bagajes académicos más relacionados con áreas como la ecología y la evolución), y grandes sectores de los consumidores, enfatizan la falta de datos y de una evaluación completa de los riesgos involucrados en la producción y liberación de plantas transgénicas (PT). (Linares, 2008).

Otros más señalan que la “generación de incertidumbre” es inherente a los sistemas tecnocientíficos —como los que producen PT y las liberan en el ambiente—, en el sentido de que, en el momento de

la liberación de una PT, en muchos casos es imposible prever todas las posibles consecuencias en el ambiente. Esto impone la necesidad de que, desde el punto de vista del Estado, se prevean los mecanismos sociales que deberían establecerse para contender contra dicha “incertidumbre”, así como para gestionar el riesgo que necesariamente acompaña a la liberación de PT en el ambiente.

En efecto, las controversias en torno al uso específico de PT se han intensificado en años recientes debido al creciente interés social en reducir, o en todo caso en vigilar y controlar, los riesgos para el medio ambiente y la salud humana que conllevan las innovaciones tecnocientíficas, así como en asegurar una justa distribución de sus beneficios. La controversia sobre la pertinencia o no de sembrar o importar maíz transgénico en México es uno de los casos más ilustrativos de este tipo de debates, y se ha convertido en un modelo de estudios de las relaciones entre ciencia, tecnología, sociedad y medio ambiente.

Conviene subrayar desde el principio que algunos defensores de este tipo de biotecnologías alegan que se trata simplemente de un eslabón más en una larga cadena de manipulaciones y modificaciones genéticas de plantas que los seres humanos han llevado a cabo durante siglos. Sin embargo, si se atiende a las técnicas específicas que se usan en la ingeniería genética actual y a los conocimientos de biología molecular en los que se basan, la modificación genética que realiza la biotecnología contemporánea dista mucho de la selección artificial que la especie humana ha hecho desde hace milenios en plantas y animales, y mucho más de los intercambios de genes que por diversas vías se llevan a cabo en la naturaleza sin intervención humana. La biotecnología actual ha desarrollado técnicas que permiten insertar genes de una especie en otra, cuestión impensable para el mejoramiento convencional y en los intercambios genéticos presentes en la reproducción de las especies en la naturaleza. Es por ello que estamos ante un cambio que no tiene precedentes en la historia humana en cuanto a la manipulación de los seres vivos, la cual presenta riesgos que es necesario tener en cuenta para poder contender mejor con ellos en formas éticamente aceptables. Desde una perspectiva de filosofía de la tecnología, es claro que las técnicas de la biología molecular contemporánea no son equivalentes a los métodos de selección y mejoramiento que durante milenios se practicaron en diversos sitios del planeta.

Algunos datos y problemas inherentes a los procesos de investigación en materia de plantas transgénicas

Un importante número de líneas transgénicas han sido producidas y comercializadas en todo el mundo. El 75% de los cultivos transgénicos liberados en el ambiente son tolerantes a un herbicida, 18% lo son a plagas de insectos y 7% a ambos. Casi 68% de las liberaciones se han dado en los Estados Unidos de América. A nivel mundial, 36% de la soya es transgénica (tolerante a herbicidas), y 7% del maíz expresa la toxina *Bt* que da resistencia a plagas de lepidópteros. Menos de 1% de las liberaciones ha ocurrido en Europa, en donde el uso y la producción de plantas transgénicas ha encontrado escepticismo y sospecha, generando un debate muy polarizado.

Ciertamente, son muy escasos los datos científicos referentes a los riesgos involucrados en la generación y liberación en el ambiente de plantas transgénicas. Esto es así tanto en los estudios provenientes de la industria como en los de entidades públicas independientes.

Ante la incertidumbre científica sobre los efectos ambientales complejos a mediano y largo plazo, y la falta de evaluación pormenorizada por parte de la industria y de los Estados, se ha propuesto la aplicación del **principio de precaución**. Éste establece que deben tomarse medidas preventivas cuando existan bases razonables para creer que la introducción de sustancias o de energía en el ambiente, o en general la aplicación de un sistema tecnológico, puede causar daños de importancia para animales, humanos y ecosistemas. (Tickner *et al.*, 2003).

Del principio se deriva la propuesta, por ejemplo, de que se suspenda la liberación de una cierta PT en el ambiente si existe una base razonable para sospechar que está produciendo un daño, aunque no se tenga evidencia contundente de que existen relaciones causales entre la liberación de esa PT y los daños.

En un sentido amplio, el **principio de precaución** puede enunciarse como sigue:

La ausencia de certeza al nivel exigido usualmente para aceptar hipótesis científicas no es una razón suficiente para posponer políticas ambientales o de control de riesgos, así como medidas específicas de control: el no tomar tales medidas puede resultar en daños serios e irreversibles para la salud de los seres humanos y el ambiente. (CBD, 2005).

Desconocimiento e incertidumbre

Existen dos circunstancias de “desconocimiento” con respecto de las PT que son relevantes para la discusión de los problemas éticos. La primera es la falta de información y conocimiento pertinente en un momento determinado. Esto puede impedir un consenso en torno a los impactos ambientales y en la salud de las PT. Frente a esta falta de conocimiento (ignorancia), suele asumirse una de las siguientes actitudes: a) declarar que no hay pruebas de efectos dañinos en la salud y en el ambiente y que, por lo tanto, es incorrecto asumir la existencia de tales efectos; b) sostener, contra la posición anterior, que en tales casos lo conveniente es aplicar el principio de precaución, tomar las medidas pertinentes de protección, y continuar investigando hasta tener información y conocimientos suficientes que permitan sostener razonablemente que existen o no efectos dañinos. (Van den Belt, 2003).

La primera actitud se basa sobre un razonamiento falaz, pues la falta de pruebas sobre la existencia de consecuencias negativas no es prueba de que no existan tales consecuencias. Conviene tener claras estas dos posiciones, especialmente para asumir una actitud éticamente fundada acerca de qué sería lo correcto hacer en relación con las posibles consecuencias del uso de las PT, especialmente bajo circunstancias en donde prevalece la falta de información, lo cual hace muy difícil alcanzar consensos en relación con esas consecuencias. Esto puede ser poco importante con respecto de los desarrollos actuales de la industria biotecnológica, pues parece poco probable que lleguen a darse consecuencias desastrosas, pero es mucho más serio para los desarrollos que usan las plantas como sistemas de expresión de sustancias no aptas para la alimentación humana (fármacos y sustancias industriales), donde es altamente probable que existan consecuencias graves para la salud o para el ambiente.

El segundo tipo de “desconocimiento” relevante en la evaluación de las consecuencias del uso de PT se da en el momento en que se aplica un determinado sistema tecnocientífico, por ejemplo, cuando se produce y libera en el ambiente una PT. La ignorancia se genera en estos casos en dos vertientes diferentes: por un lado, porque los métodos mediante los cuales se introducen transgenes en plantas son imprecisos en cuanto a dónde, en qué conformación y cómo se inserta un transgén en el genoma, es decir, dichos métodos tienen incertidumbres inherentes que deben considerarse al evaluar el uso y la aplicación de los sistemas tecnocientíficos que los producen y sus consecuencias. La segunda vertiente

proviene del hecho de que, en el momento de aplicar un sistema tecnocientífico, liberar en el ambiente una PT por ejemplo, por limitaciones epistemológicas y metodológicas puede ser imposible prever todas las consecuencias posibles de dicha acción. (Giampietro, 2002).

Así pues, en el aspecto de los cultivos y alimentos transgénicos, parte del problema es que existe un amplio margen de incertidumbre. Si bien este tipo de cultivos puede ofrecer, como lo señalan las empresas de biotecnología, respuestas a problemas que enfrentan los agricultores —como resistencia a plagas o factores ambientales adversos para la producción agrícola y pecuaria—, la falta de precedentes en cuanto a la presencia de transgenes en el ambiente da lugar a una situación de incertidumbre y riesgo. Es decir, no son del todo predecibles los efectos de la presencia de estos nuevos organismos en la agricultura y la alimentación, y en cambio existen riesgos ambientales plausibles como la creación de nuevas plagas y malezas difíciles de controlar; la desaparición de variedades nativas de cultivos importantes, el aumento en el uso de herbicidas (puesto que no se ha eliminado su uso con PT), más los riesgos socioeconómicos, como crear concentración excesiva y monopolización en el mercado de alimentos y perjudicar a pequeños agricultores que preservan variedades nativas en condiciones de competencia desventajosa. Si bien a la fecha no se ha demostrado contundentemente que el consumo de estos alimentos haga daño a seres humanos o a otros animales, también hay que recordar que su presencia en los anaqueles de los supermercados es relativamente reciente y que la investigación que se ha hecho al respecto a nivel mundial es frecuentemente financiada por las corporaciones multinacionales que fabrican los transgénicos, es decir, por partes interesadas en mostrar su inocuidad. Al mismo tiempo, pueden cuestionarse los métodos de evaluación de los productos transgénicos por su insuficiencia y criterios laxos. Es por ello que, a nivel de la regulación internacional, es muy importante que quede claro que se debe aplicar el principio de precaución y la evaluación caso por caso. Nadie ha demostrado la inocuidad de estos productos, aunque algunos Estados los hayan aprobado para consumo. (Schmidt, 2005).

La regulación integral, basada en principios socio-éticos y políticos de los OGM ha resultado particularmente insuficiente, entre otras cosas porque los efectos de estos organismos son sitio-específicos y depende mucho del transgénico en particular y de la región de que se trate. No es lo mismo liberar un OGM en un centro de origen de especies importantes (el caso del maíz en México) que en otro donde no hay

tal condición. Los países megadiversos se encuentran en mayor riesgo que los que no lo son. Existe, por tanto, una dificultad muy seria para caracterizar, como en otros casos de riesgos ambientales, qué es un uso “normal” de los transgénicos y qué es un abuso. Los riesgos se deben determinar caso por caso, y entre ellos nunca deben excluirse los riesgos socioeconómicos.

El actual esquema de regulación de PT en México es inadecuado, pues no considera de manera relevante la incertidumbre científica ligada a las evaluaciones de riesgo y, sobre todo, las preocupaciones y objeciones de sectores del público consumidor y de los pequeños productores. El uso y aplicación del principio precautorio requiere enfoques científicos robustos con énfasis en la incertidumbre científica, el significado de la evidencia y el marco de referencia de las hipótesis puestas a prueba.

En virtud de la incertidumbre inherente a los métodos de producción y evaluación de las consecuencias de la generación y liberación en el ambiente de PT, los estudios científicos siempre están sujetos a interpretaciones alternativas y esto puede afectar los marcos y alcances de las evaluaciones de riesgo. De esto se deriva un imperativo ético para los científicos: con el propósito de atender el riesgo implicado en el desarrollo y uso de las PT, los científicos tienen la responsabilidad de comunicar con claridad la incertidumbre que subyace a sus supuestos, métodos, resultados y análisis, así como declarar con transparencia qué es lo que se sabe con respecto de esas consecuencias en un momento determinado, y hasta dónde es posible que existan consecuencias imposibles de determinar en ese momento. Asimismo, los científicos que están involucrados comercialmente directa o indirectamente deben declarar abiertamente sus intereses específicos para no caer en conflictos de interés. Su opinión científica puede estar sesgada por esos intereses. (Foster *et al.*, 2000).

Incertidumbre científica: riesgos y costos no previstos

Analícemos ahora con mayor detalle la primera fuente de ignorancia, la incertidumbre, y cuál debería ser la actitud éticamente correcta frente a ella, comenzando por identificarla, reconocerla y resolverla.

Como ya se adelantó, los métodos mediante los cuales se introducen transgenes en plantas son imprecisos en cuanto a dónde, en qué conformación y cómo se inserta un transgén en el genoma. Por

lo anterior, dichos métodos tienen incertidumbres inherentes que no han sido solucionadas: esta tecnología no es más precisa que otras y, al ser utilizada para modificar la conformación genética de organismos vivos que potencialmente pueden reproducirse libremente, cualquier anomalía o inestabilidad genética puede mantenerse o amplificarse por muchas generaciones, incluso para siempre.

Esto puede ocasionar problemas en el biomonitoreo de OGM, ya sea al intentar detectar el gen o la proteína, pues los métodos de detección estandarizados a la fecha no toman en cuenta todos los procesos que podrían desencadenarse a partir de la modificación. Además, las técnicas más consistentes de detección de transgenes (*Southern blot*, PCR/ secuenciación) requieren personal capacitado e insumos y maquinaria costosa que hay que importar (lo que implica otra forma de dependencia tecnológica con el exterior).

Lo anterior ocasiona que la inversión que habría que llevar a cabo tanto en infraestructura como en capacitación de personal y formación de técnicos para poder realizar labores de biomonitoreo constante en nuestro país, en particular si se pretende segregarse los cultivos transgénicos de sus contrapartes no transgénicas, elevaría mucho más el costo de usar OGM (más allá de lo que se paga por esta tecnología) en comparación con el uso de otro tipo de cultivos. El costo de llevar a cabo biomonitoreo, según lo dispuesto por la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), tendría que ser absorbido por el Estado mexicano —y por lo tanto socializado— ya que las empresas que lucrarían con la venta de OGM no están obligadas a llevar a cabo labores de biomonitoreo ni participar en la posible compensación por daños no previstos de esta tecnología. Tomando en cuenta lo anterior, los costos económicos y sociales de introducir OGM en el ambiente, en particular aquellos de los que México es centro de origen y diversificación, muy probablemente superen los posibles beneficios del uso de estos productos biotecnológicos.

En cuanto al razonamiento subyacente al uso de OGM para la resolución de problemas agrícolas utilizando una estrategia “armamentista” (término entendido como se utiliza para describir la coevolución entre toxinas de plantas *vs.* insectos herbívoros), en donde se pretende controlar una plaga (usando genes *Cry*) o hacer más fácil el manejo de un cultivo (tolerancia a herbicidas) a partir de la introducción de unos cuantos genes, favorece una rápida evolución de resistencia en los organismos afectados (plagas, hierbas) y hace a esta tecnología poco sosten-

table, por lo que si la intención es llevar a cabo una agricultura mucho más sustentable que contribuya a solucionar los problemas agrícolas de México —relacionados más con rendimiento, suelos salinizados y sequía— será necesario recurrir al mejoramiento agronómico de estos caracteres genéticamente complejos. El uso de marcadores moleculares (QTL) será fundamental para esto.

Aspectos ético-políticos. La legislación mexicana, riesgos socioeconómicos y culturales, y las responsabilidades del Estado

A partir de la promulgación de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) en 2005, la controversia nacional sobre los transgénicos parecía haber llegado a un punto de resolución. Sin embargo, quedaban muchas lagunas y asuntos cruciales por determinar, como las disposiciones para establecer el “Régimen de Protección Especial del Maíz” que se señala en el artículo 2, fracción XI de la citada ley. Recientemente se ha dado a conocer la iniciativa gubernamental para normar tal régimen de protección, pero en opinión de científicos y ciudadanos preocupados por la protección del maíz mexicano, este ordenamiento no cumple cabalmente con su objetivo central.

El poder legislativo contó con la asesoría de un grupo de cerca de 40 investigadores de la Academia Mexicana de Ciencias (AMC) para la revisión de la LBOGM, pero no se realizó en su momento un debate público suficientemente plural para que se plantearan todas las opiniones y posiciones de la sociedad civil, ni se recogieron cabalmente las posiciones planteadas por los miembros de la AMC. El modelo de consulta se centró en las audiencias con un grupo de expertos, sin tomar en cuenta a expertos científicos que tenían opiniones diversas, y en el mismo nivel, a los demás ciudadanos informados o a las diversas asociaciones de agricultores de maíz de nuestro país. Esta falta de debate público plural y extendido debería corregirse en la promulgación de las disposiciones esenciales que dan sentido a la ley mexicana de bioseguridad. El poder legislativo puede abrir en cualquier momento una nueva consulta nacional para revisar la LBOGM y sus reglamentos derivados, y asegurar así una adecuada protección del más importante cultivo alimentario en México.

Las condiciones ético-políticas indispensables para llegar a una resolución justa de una controversia tecnocientífica, como la de los

OGM, pueden resumirse en: 1) difundir y compartir públicamente el conocimiento de lo que se sabe y de lo que no se sabe con certeza o se ignora (tanto de los riesgos como de las supuestas ventajas de la innovación tecnocientífica); 2) compartir el poder de decisión para generar un consenso social amplio; 3) potenciar la autonomía de los ciudadanos para decidir si adoptan o no la innovación tecnocientífica (en este caso el uso de transgénicos en la agricultura y particularmente en el caso del maíz), y extender la responsabilidad social para supervisar y controlar dicha innovación, tomando medidas adecuadas para poder enfrentar en su caso los riesgos inherentes; 4) reducir esos riesgos mediante medidas precautorias antes de tener que lidiar con problemas desconocidos y de gravedad; y 5) asegurar la más amplia y plural participación ciudadana en la toma de decisiones mediante procedimientos democráticos, en el que no sólo participen los expertos científicos, sino cualquier ciudadano informado que aporte información y argumentos.

La adecuada resolución democrática sobre una controversia tecnocientífica implica que se ponderen diversos sistemas de valoraciones e intereses sociales, a partir de valores y fines de interés social amplio. Pero en el caso que nos ocupa han prevalecido los valores e intereses económicos (de lucro y concentración del mercado) de la tecnología de los transgénicos sobre otros valores sociales, como la bioseguridad y la protección ambiental, la equidad y la justa competencia económica, la autonomía de los ciudadanos y la precaución, la vigilancia y el control de los posibles riesgos.

En efecto, hasta el momento, el valor principal de las semillas transgénicas reside en su esperada capacidad para aumentar la eficiencia productiva por hectárea y para reducir el uso de agroquímicos que causan efectos ambientales negativos. En el caso del maíz, se ha supuesto que el uso de transgénicos incrementaría significativamente la eficiencia agrícola para poder responder a una creciente demanda de este alimento básico en el mercado nacional. No obstante, la eficiencia técnica de las semillas transgénicas de maíz (en las variedades existentes actualmente en el mercado) es objeto de un intenso debate científico. No existe consenso mundial al respecto ni tampoco se ha demostrado cabalmente su mayor eficiencia frente a los cultivos convencionales. (Schubert, 2009).

Un valor técnico que marcaría una diferencia sustantiva con respecto de las semillas convencionales es que las secuencias transgénicas incrementarán en los alimentos su valor nutricional o incorporarán vi-

taminas y vacunas para los seres humanos, pero actualmente no existen en el mercado estos tipos de transgénicos, pues están todavía en fase experimental. Los transgénicos de maíz disponibles en el mercado no representan ninguna ventaja para el consumidor. Pero además, debe subrayarse —como se señaló arriba— que los riesgos son ciertamente mayores en el caso de biofármacos (como vacunas) debido a las consecuencias que podría haber de una fuga fuera de control, como casos que ya han ocurrido.

Por otra parte, los transgénicos no han demostrado reducir el impacto ambiental por el uso de agroquímicos sino, por el contrario, obligan al agricultor a emplear agroquímicos específicos (y no siempre en cantidades menores) para cada semilla transgénica patentada. Esto implica una dependencia tecnológica y económica hacia los fabricantes y distribuidores de transgénicos. Así pues, la introducción de semillas transgénicas ha contribuido fehacientemente a la monopolización y el control de mercados en manos de unas cuantas empresa transnacionales, lo cual no ha redundado ni en mejores precios para los consumidores ni en ventajas alimenticias.

Los riesgos de distorsión de la competencia interna en la producción agrícola que favorezcan injustamente a las empresas monopólicas transnacionales y que vayan en detrimento de los pequeños productores nacionales son tan importantes como los riesgos ambientales o sanitarios. Los campesinos mexicanos han preservado los conocimientos agrícolas y la diversidad genética de los cultivos de maíz durante generaciones. Son esos pequeños y medianos agricultores quienes sostienen la diversidad de la producción nacional de maíz para consumo humano. Un valor sociocultural adicional, que en términos éticos es relevante, es que esa diversidad de maíces constituye una base fundamental del patrimonio culinario de nuestro país. El Estado mexicano ha pugnado para que se reconociera a la gastronomía mexicana como “patrimonio de la humanidad”. Si la base de ese rico patrimonio es el maíz criollo en su diversidad establecida en los ecosistemas de la nación, es entonces responsabilidad de los gobiernos protegerlo jurídica y técnicamente.

La razón fundamental sobre por qué es altamente riesgoso introducir maíz transgénico es que México es centro de origen y diversidad del maíz, por lo cual el Estado mexicano tiene la responsabilidad mundial de preservar las más de 50 variedades de maíz nativo que se han aclimatado en distintas regiones del país después de siglos de cuidado y cultivo de los campesinos nacionales.

Por otra parte, hace falta desarrollar más investigación científica independiente, y sin conflicto de intereses, para estudiar los probables riesgos ambientales y sanitarios de la utilización de transgénicos en campo abierto. También subsisten dudas razonables sobre la seguridad del maíz usado como biorreactor y hay evidencias de riesgos serios para la salud humana en la utilización de marcadores de resistencia a antibióticos. Las universidades públicas tienen la responsabilidad social de contribuir a realizar estas evaluaciones y a buscar otras opciones para el mejoramiento de la producción nacional de granos y alimentos. No deberían concentrar sus recursos de investigación e infraestructura (que son bienes públicos) para desarrollar una sola opción tecnológica y beneficiar a unas cuantas empresas monopólicas mundiales. Está claro que los beneficios económicos derivados de estas innovaciones en tecnologías transgénicas no llegan a toda la sociedad ni retornan a las instituciones públicas de ciencia y tecnología.

Debido principalmente a la dificultad extrema de evitar la contaminación genética (de las semillas transgénicas a las convencionales) en campo abierto, por la gran capacidad de fertilización del maíz y su tipo de polinización que es abierta, es preferible como medida de precaución establecer una moratoria general sobre la producción e importación de maíz transgénico en México. El régimen de protección especial para el maíz mexicano debe ser eso mismo: una protección ambiental por un sentido básico de responsabilidad nacional y global. En el caso de los transgénicos de maíz, debe hacerse una aplicación estricta del principio precautorio, tanto porque no es posible técnicamente asegurar la separación total y la no contaminación entre cultivos transgénicos y convencionales, como por las dudas que subsisten acerca de la posibilidad futura de efectos negativos a la salud humana. Son todas dudas razonables que se han argumentado en este documento.

Esta medida es específica para el maíz y no para otros transgénicos, por dos razones: a) es una obligación ética proteger las variedades autóctonas desarrolladas y aclimatadas en México durante miles de años, y b) no es posible evitar de manera segura la contaminación de maíz transgénico al maíz nativo.

Es responsabilidad de los mexicanos proteger la diversidad biológica de maíz que se domesticó y cultivó en su origen en Mesoamérica y que aún se hace en México. Esos cultivos domesticados y aclimatados en nuestro país durante miles de años son patrimonio de la humanidad. Se trata de una responsabilidad temporalizada, hacia el pasado para

proteger una herencia recibida, biológica y cultural; y hacia el futuro, para entregar a las siguientes generaciones una biodiversidad conservada y una herencia de conocimientos sobre este cultivo básico para nuestra alimentación.

La moratoria que proponemos es aplicable únicamente a la producción en el territorio nacional y a la importación de semillas de maíz genéticamente modificado. Para el caso de la importación de productos que contengan un mínimo de transgénicos (muy abundantes ya en el mercado nacional), la aplicación del principio de precaución exige la trazabilidad, identificación y etiquetado de alimentos, productos orgánicos y piensos importados que contengan transgénicos.

Ahora bien, para resolver los problemas de abasto e incrementar la eficiencia de la producción nacional de maíz, el Estado mexicano debe promover la investigación sobre métodos de agricultura orgánica y sostenible, incrementar los subsidios financieros y la ayuda tecnológica a los productores nacionales, así como abrir, en caso necesario, los cupos de importación de maíz no transgénico libre de aranceles a fin de evitar la especulación y el alza inmoderada de los precios, para garantizar así el abasto y mantener la seguridad alimentaria en este grano básico. El Estado mexicano podría buscar el apoyo de la comunidad internacional para declarar el país como zona protegida de maíz libre de transgénicos y establecer un convenio internacional para instaurar una reserva y un banco de germoplasma de la biodiversidad de maíz mexicano y mesoamericano. Para tal fin, la comunidad internacional, mediante organismos como la FAO o la UNESCO, podría incluso transferir recursos para subvencionar esta protección.

Confrontación de intereses

Una característica de los sistemas tecnocientíficos contemporáneos —y aquellos que producen PT, los comercializan y liberan en el ambiente no son la excepción—, es que en torno a ellos se agrupan diferentes sectores sociales con valores e intereses distintos, por lo cual generarán evaluaciones que necesariamente discreparán entre sí. Por esto, es fundamental reconocer, identificar y resolver los conflictos de intereses y las preocupaciones del público en torno a la producción, comercialización y uso de PT, particularmente en el caso de maíz transgénico.

Por una parte se encuentran las corporaciones, generalmente transnacionales, interesadas en la comercialización de las semillas transgénicas, que actúan fundamentalmente otorgando un privilegio al valor de las ganancias económicas frente a otros valores como el cuidado del ambiente, la preservación de la biodiversidad y la preservación de valores socioculturales. Debido a este interés fundamental, los estudios sobre los riesgos por el uso de transgénicos no pueden estar a cargo de las empresas interesadas en su comercialización.

Por otra parte, se ha venido dando una cada vez mayor y más estrecha cooperación entre las corporaciones transnacionales y las instituciones de investigación pública, en virtud de lo cual es necesario distinguir los intereses a los cuales están respondiendo estas últimas, así como los valores en función de los cuales están realizando sus investigaciones. Esto se debe a que, en el panorama actual, se encuentran grupos de investigación al interior de las instituciones públicas que se adhieren a valores tradicionales de la investigación científica, como el carácter público del conocimiento y el interés de ponerlo al servicio de la sociedad —esto tiene como objetivo que se disponga de mayores elementos de juicio para tomar decisiones sobre la legislación en bioseguridad, por ejemplo—, mientras otros grupos aceptan condiciones incompatibles con el carácter público del conocimiento (y de la infraestructura de investigación de las universidades públicas) y más bien apropiadas para preservar los intereses centrados en la ganancia económica de particulares. Por todo lo anterior, deben revisarse puntualmente los valores que se ponen en juego al desarrollarse investigaciones en las instituciones públicas y tener claros los intereses a los cuales se está sirviendo. Otro imperativo ético es dejar esto en claro tanto en las instituciones y los miembros de los grupos de investigación, como ante el público y la sociedad en general.

Lo anterior plantea la urgencia de contar con más recursos públicos e independientes de los intereses de las transnacionales para hacer estudios acerca de las limitaciones, alcances reales y riesgos de la biotecnología de plantas transgénicas para la agricultura. Dichos estudios deberían estar a cargo de las instancias del Estado mediante la colaboración de universidades e institutos de investigación que no tengan conflicto de intereses. La situación actual es que las disposiciones que se establecen tanto en el Reglamento como en el Régimen de Protección Especial del Maíz implican que el Estado mexicano abandone irresponsablemente la supervisión y el control de un producto agrícola

estratégico para la nación. Si el gobierno mexicano en turno no cumple con su responsabilidad, la sociedad civil tiene la obligación de demandar que lo haga, así como de solicitar la ayuda internacional para lograr un convenio mundial para proteger el maíz en México, centro de origen y biodiversidad.

Una convención internacional para proteger el centro de origen y diversidad genética del maíz tendría como objetivos primordiales: 1) asegurar la integridad y biodiversidad genética de los acervos del maíz mexicano en sus más de 50 variedades domesticadas; 2) garantizar los derechos de los agricultores mexicanos a cultivar maíz nativo libre de secuencias transgénicas; 3) proteger y mantener libre de apropiación privada los conocimientos tradicionales sobre el cultivo del maíz nativo, crear y mantener un banco de germoplasma del maíz en todas sus variedades cultivadas en México y Centroamérica; y 4) prohibir mediante una moratoria la introducción de maíz genéticamente modificado para asegurar que todo el acervo resultante del mejoramiento autóctono del maíz mexicano se mantenga libre de construcciones recombinantes patentadas.

Información y educación

México se encuentra en una situación de crisis agrícola y alimentaria. A esto ha contribuido la política de liberalización y privatización que no ha considerado que la agricultura, y especialmente la producción de maíz, es un sector sensible a la política de libre mercado, y ha ignorado las posibilidades de incrementar la productividad del campo mediante tecnologías tradicionales que implican mucho menos riesgos, pero para lo cual ciertamente se requeriría una importante inversión pública.

Pese a que la política y la legalidad a la fecha son restrictivas en cuanto a los OGM y en la siembra de maíz transgénico está prohibida en el país, el hecho de que haya transgenes en el campo mexicano por fugas accidentales, fuera de la legalidad, pone de relieve la importancia no sólo de establecer mecanismos de vigilancia y control de los riesgos generados por la aplicación de los sistemas tecnocientíficos, en particular del uso de plantas transgénicas, sino especialmente sobre la importación a México de semillas transgénicas.

Uno de los principales problemas éticos reside en el hecho de que los productores y consumidores de los productos de maíz en general

carecen de información sobre la presencia misma de semillas transgénicas e incluso ignoran lo que es una semilla transgénica y los riesgos que su mera presencia puede entrañar para la agricultura y el ambiente. Así, por ejemplo, es frecuente que los campesinos mexicanos no sepan de la presencia de transgenes y mucho menos que esto puede afectar su cultivos y las condiciones de mercado. También lo es el que las instancias gubernamentales encargadas de evitar estos riesgos, inclusive comprometidas con ello mediante la firma de acuerdos internacionales, no hagan nada al respecto e incluso algunas autoridades favorezcan las presiones de las corporaciones para la liberación de la siembra de maíz transgénico.

La falta de información adecuada para la sociedad es patente también en otros casos en México: los consumidores ya estamos alimentándonos con transgénicos (sobre todo con soya presente en alimentos procesados) sin saberlo y sin tener la posibilidad de conocer el contenido de transgénicos de muchos productos elaborados, debido a la ausencia de una legislación que obligue al etiquetado para que el consumidor esté debidamente informado y pueda ejercer su autonomía al decidir consumir o no ese tipo de productos.

El panorama puede empeorar por el creciente avance de la producción de biocombustibles a partir de maíz transgénico transformado *ex profeso* para producirlos. La simple posibilidad de contaminación de los campos de maíz sembrado para alimentación con estos transgénicos es un atentado al derecho a la alimentación de los mexicanos, sobre todo por las repercusiones sobre las variedades nativas en el centro de origen.

Conclusiones. Información, educación y participación pública: únicas vías éticamente aceptables para la conformación de mecanismos de vigilancia y control de los riesgos generados por los transgénicos

En virtud de los problemas que se han revisado hasta aquí, podemos extraer una serie de conclusiones, entre las cuales destaca la necesidad de establecer una moratoria a la importación y liberación de semillas de maíz transgénico en México, así como el poner en marcha mecanismos de vigilancia y control de los riesgos generados por los transgénicos en donde se contemple la participación de los diferentes sectores de la

sociedad involucrados y afectados. Esto es más urgente si consideramos la parte esencial que representa el maíz en la cultura y la alimentación de los mexicanos. Todo ello requiere amplias transformaciones en los sistemas de comunicación pública para informar adecuadamente a la sociedad y, sobre todo, en el sistema educativo.

1) Es absurdo hacer juicios de valor generales tales como “la biotecnología es buena” o “la biotecnología es mala”, “los organismos genéticamente modificados son buenos” o “los organismos genéticamente modificados son malos”. Las evaluaciones deben hacerse siempre sobre sistemas tecnocientíficos específicos y sobre sus resultados y consecuencias (intencionalmente buscados o no). En el caso del maíz en México, las evaluaciones deben hacerse específicamente en el contexto ambiental, cultural, histórico, social y económico de nuestro país.

2) La biotecnología y sus aplicaciones llevan consigo riesgos. Por esto, en materia de biotecnología debe establecerse mecanismos de identificación, evaluación y gestión del riesgo que generan.

3) El desarrollo de la biotecnología y la aplicación de sus resultados es un proceso que no tiene por qué detenerse, pero debe regularse de mejor manera. Pero los seres humanos en los diferentes papeles sociales que desempeñan: científicos, tecnólogos, gestores de la ciencia, la tecnología y la tecnociencia, políticos, gobernantes, legisladores, administradores públicos, funcionarios de organizaciones internacionales, empresarios y los ciudadanos de la calle pueden tomar medidas y promover acciones capaces de influir en el desarrollo de los sistemas biotecnológicos y, sobre todo, encauzar sus beneficios e impacto hacia la sociedad y el planeta.

4) Se debe reconocer que en torno a la biotecnología y sus aplicaciones, particularmente en el caso del maíz y las semillas transgénicas, se congregan y enfrentan intereses económicos, sociales, culturales y ambientales, que muchas veces son incompatibles. Debemos decidir qué intereses tiene mayor legitimidad y validez: los de unos pocos que buscan las ganancias económicas a toda costa, o los de la mayoría de las personas que tienen interés en consumir alimentos seguros, ambientalmente sostenibles y que preserven su cultura.

5) Dado que los sistemas biotecnológicos generan incertidumbre e ignorancia, y en virtud de que existe una amplia diversidad de valores e intereses en juego, ya no es aceptable que en las sociedades democráticas las decisiones se tomen sólo con base en la opinión de expertos, de los políticos asesorados por expertos, y mucho menos de las partes

interesadas, como son las compañías que buscan un beneficio económico particular. Para la toma de decisiones se requiere la participación de los diversos grupos afectados, de expertos y no expertos.

6) La obligación de los Estados y organismos internacionales es evitar moratorias o prohibiciones generales absurdas —como moratorias generales sobre investigaciones biotecnológicas—; en cambio, cuando haya razones específicas en casos determinados, como se ha alegado arriba para el caso del maíz transgénico en México, deben establecer moratorias específicas o prohibiciones concretas —por ejemplo, sobre el cultivo e importación de maíz transgénico. A nivel nacional y global debe legislarse para establecer mecanismos sociales de vigilancia, de toma de decisiones y de posibles formas de actuar, así como para fincar responsabilidades y dirimir disputas, siempre con la participación de los diferentes sectores que tengan intereses en juego.

7) En el campo legislativo y jurídico debe propiciarse el establecimiento de los debidos mecanismos de vigilancia y control sobre los posibles efectos de los sistemas biotecnológicos que permitan: a) tomar decisiones en cuanto a restricciones sobre posibles líneas de investigación y posibles aplicaciones de sistemas biotecnológicos específicos que podrían ser perniciosos; b) tomar decisiones sobre cómo determinar cuándo ciertas investigaciones o determinadas aplicaciones podrían ser perniciosas; c) tomar decisiones sobre la atribución de responsabilidades (morales, jurídicas, económicas y políticas), principalmente cuando se dañen bienes públicos (como el ambiente o el entorno cultural); d) tomar decisiones para exigir compensaciones. Dichos mecanismos deben desarrollarse a nivel regional, nacional e internacional.

8) ¿Quiénes deberían participar en esas discusiones? La legislación no puede prever de antemano todos los agentes interesados y pertinentes en relación con cada problema específico. Por lo tanto, debe prever los mecanismos que garanticen en cada caso la participación de diferentes grupos de expertos y sectores sociales cuyos intereses están en juego.

9) Los expertos tienen las siguientes obligaciones: a) ser transparentes en cuanto a lo que saben y lo que ignoran, declarar si pueden incurrir o no en conflicto de interés; b) ofrecer siempre razones que respalden sus opiniones, y hacerlas accesibles a todo el público; c) nunca despreciar a la gente (ni al ciudadano de la calle ni al legislador); d) tomar en cuenta que la gente sabe mejor que nadie lo que quiere; e) reconocer que el papel de los expertos tiene un límite.

10) Los problemas que plantea la biotecnología ya no pueden resolverse sólo con “más ciencia” o sólo con más expertos (aunque en general sea conveniente investigar más, aumentar nuestro conocimiento, hacerlo público y garantizar su aprovechamiento social, y por lo tanto sea necesario incrementar el número de especialistas y el financiamiento para las investigaciones de interés público). No existe ya un único grupo, ni un conjunto definido de grupos de expertos que pueda tomar las decisiones importantes (por ejemplo, sobre la atribución de responsabilidades, la determinación de compensaciones o las medidas de seguridad en el caso del maíz). Se requiere también novedosas formas de organización social que estimulen mayor participación ciudadana, lo cual supone transformaciones en el sistema educativo para que todos los ciudadanos cuenten con las condiciones adecuadas para participar de manera responsable en los debates y en las decisiones.

11) La tecnología, la tecnociencia en general y la biotecnología en particular, transforman de manera radical el medio ambiente y por ende las formas de vida de la gente. Esto es mucho más claro en el caso del maíz en nuestro país, dado que involucra aspectos básicos de la alimentación, de la cultura y de sus formas de vida. La decisión de aceptar o no innovaciones tecnológicas que pueden implicar cambios profundos, corresponde a toda la gente, no a los expertos, ni al gobierno, ni solo a los representantes del Estado. Por eso debe de generarse discusión pública acerca de cuáles cambios en la forma de vida, inducidos por los sistemas tecnocientíficos, particularmente por el uso de maíz transgénico, son deseables y éticamente aceptables.

12) Es indispensable promover en México el desarrollo de mejores mecanismos de información pública, y ante todo transformar el sistema educativo (formal e informal) para lograr que los ciudadanos estén debidamente informados en cuanto a los potenciales y problemas de la ciencia y la tecnología. En particular en temas específicos como la biotecnología y los transgénicos, pero que además tengan los conocimientos básicos y la capacidad de evaluar críticamente las ventajas, desventajas y riesgos de determinados desarrollos tecnocientíficos, los cuales les permita participar en las controversias sociales y en los mecanismos de vigilancia y control de riesgos. Esto conferirá a los ciudadanos el poder efectivo para tomar decisiones razonables y responsables en torno a la oferta tecnocientífica contemporánea, particularmente la que afecta un elemento central de la alimentación y la cultura mexicana como es el maíz. De este modo, se pone en juego en la controversia social sobre

el uso de biotecnología transgénica el futuro y el rumbo de la joven y frágil democracia de nuestro país. Por ello, el debate público y la toma de decisiones deben integrar a todos los sectores y todos los aspectos que hemos señalado.

Referencias

- Convention on Biological Diversity (CBD). (2000). En <http://www.biodiv.org/world/parties.asp>
- Foster, K., P. Vecchia, M. Repacholi. (2000). Risk Management: Science and the Precautionary Principle. *Science*, 288(5468), 979-81
- Giampietro, M. (2002). The precautionary principle and ecological hazards of genetically modified organisms. *Ambio* 31(6): 166-1670
- Linares, J. E., *Ética y mundo tecnológico*. (segunda parte), FCE-UNAM, México, 2008.
- Schmidt, C.W. (2005). Genetically Modified Foods: Breeding Uncertainty. *Environmental Health Perspectives*, vol 113 no 8, 526-533
- Schubert, D. (2009). Commercialized GM crops and yield. *Nature Biotechnology* 27(9).
- Tickner, J., D. Kriebel, S. Wright. (2003). A compass for health: rethinking precaution and its role in science and public health. *International Journal of Epidemiology*, 32, 489-492
- Van den Belt, H. (2003). Debating the Precautionary Principle: “Guilty until proven innocent” or “Innocent until proven guilty”? *Plant physiology*, 132:1122-1126.



CAPÍTULO 11
ALTERNATIVAS TECNOLÓGICAS NO TRANSGÉNICAS
PARA EL MEJORAMIENTO Y LA PRODUCCIÓN SUSTENTABLE
DE MAÍZ EN MÉXICO



*Catherine Marielle, Antonio Turrent Fernández, Lucio Díaz,
Marta Astier, Narciso Barrera-Bassols, Carlos H. Ávila Bello,
Alejandra Celeste Dolores Fuentes*

Introducción

En este capítulo presentamos algunas alternativas tecnológicas para obtener variedades no transgénicas de maíz aptas para su cultivo en México con el fin de aumentar los niveles de producción de maíz, así como para desarrollar una agricultura sustentable de este grano. Las opciones presentadas aquí no pretenden ser exhaustivas, sin embargo, muestran con claridad que existen varias vías que prescinden del uso de maíz transgénico y que pueden resolver el problema de los bajos rendimientos por hectárea (ha) que existen en algunas regiones del país y de la producción total deficitaria de maíz en México. También se exploran vías para desarrollar sistemas productivos sustentables. La existencia de estas alternativas muestra también que el déficit maicero en México no se desprende de la falta de alternativas tecnológicas, sino de condiciones socioeconómicas y de las políticas del Estado en torno al campo (ver Capítulo 17).

Primero se revisan las evaluaciones del potencial productivo de maíz en México realizadas desde 1963 hasta 2000, y después se presenta una síntesis de las alternativas agronómicas que existen en instituciones

públicas para la producción de maíz en el país, y que hacen uso de insumos desarrollados durante la Revolución Verde (híbridos mejorados, fertilizantes, riego, entre otros). En segunda instancia se presentan alternativas sustentables derivadas de la agricultura tradicional de maíz, con énfasis en el sistema de milpa. Finalmente, se dan ejemplos de desarrollos de biotecnología agrícola contemporánea, con énfasis en algunas opciones no transgénicas y su potencial para ser usadas en un programa integral de mejoramiento de maíz y de producción de este cereal básico de manera sustentable. En esfuerzos futuros será necesario analizar cómo combinar estas opciones tecnológicas en un plan integral que asegure en México la producción sustentable de maíz de alta calidad.

Opciones agronómicas no transgénicas para aumentar la productividad del maíz en México

En el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desde 1963 se ha estudiado el potencial productivo del maíz en la República Mexicana. Hasta antes del año 2000, el concepto de potencial productivo se ceñía a la evolución de las superficies sembradas con maíz (cambio en las áreas sembradas), la calidad de la tierra de labor sembrada bajo riego y temporal, y el avance en el conocimiento público. Se definía el potencial productivo como el promedio de varios años de producción nacional de maíz, si la superficie sembrada fuera tratada con la tecnología pública disponible. Este ejercicio servía como guía para impulsar programas de transferencia de tecnología. En la actualidad también se toman en cuenta las tierras de labor de ocho estados del sur-sureste factibles de ser irrigadas y que se siembran con maíz bajo temporal; también se contabiliza una parte de las tierras de calidad agrícola que se manejan bajo el sistema de ganadería extensiva. Mientras en la definición previa se ponderaba solamente la inversión requerida para generar nuevo conocimiento público y transferirlo, en la actualidad también se pondera la oportunidad de la inversión pública en varios tipos de infraestructura: interconexión de energía eléctrica para el campo, caminos, irrigación, y otros servicios.

El INIFAP ha sido actor clave en el avance del conocimiento público sobre el cultivo de maíz en México. Desde 1940 se ha realizado el mejoramiento genético del maíz a partir de diez de las más de 59 razas

nativas, se han desarrollado maíces mejorados para las seis grandes regiones agroclimáticas del país (Trópico, Bajío, Altiplano, Transición, Meseta Semiárida del Norte y Subtrópico Semiárido) y para cuatro Provincias Agronómicas (PA) de la tierra de labor (Riego; Muy Buena,¹ Buena y Mediana Productividad) en cada una de las regiones. Para estas 24 condiciones agroclimáticas se han sucedido varias generaciones de material genético cada vez más adaptado, con mayor resistencia a enfermedades y potencial de rendimiento y uniformidad fenotípica más grande. En total, el INIFAP ha liberado 168 variedades mejoradas de maíz, de las cuales 84 son híbridos y otras 84 son variedades de polinización libre derivadas de maíces nativos. Los híbridos han sido desarrollados para las PA de mayor calidad, mientras que las variedades de polinización libre se aprovechan en las de menor calidad. Empero, para las PA más limitativas: PA de Baja productividad y de Tierras Marginales bajo temporal, no hay materiales mejorados que compitan con las más de 59 razas nativas de maíz RNM. Tampoco son sustituibles estas (RNM) en las PA de Muy Buena y Buena productividad en condiciones de Sierra de Neblina (baja radiación solar, alta pluviosidad, suelos hiperácidos, alta presencia de enfermedades endémicas del maíz).

El sistema universitario público también ha desarrollado y liberado maíces mejorados, pero sus contribuciones han sido puntuales. El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) ha hecho aportaciones al mejoramiento genético del maíz como proveedor de materiales premejorados a las instituciones públicas y privadas. Por otro lado, los consorcios transnacionales han participado con materiales mejorados, haciendo énfasis en las PA de mayor calidad y manejadas bajo esquemas de una agricultura industrial.

¹ En las tierras de labor de la Provincia Agronómica (PA) de Muy Buena Productividad llueve entre 90% y 200% de la evaporación total de junio a septiembre, y los suelos tienen más de 1 metro de profundidad; en la PA de Buena Productividad llueve más de 200% de la evaporación junio-septiembre, con suelos profundos y delgados. En la PA de Mediana Productividad (a) llueve entre 70 y 200% de la evaporación, con suelos de menos de 1 metro de espesor, o (b) llueve entre 70% y 90% de la evaporación con suelos de más de 1 metro de espesor. En las tierras de labor de la PA de Baja Productividad (a) llueve entre 50 y 70% de la evaporación junio-septiembre con suelos de menos de 1 metro de espesor o (b) llueve menos de 50% de la evaporación y los suelos tienen más de 1 metro de espesor; en la PA de Tierras Marginales llueve menos del 50% de la evaporación junio-septiembre y los suelos tienen menos de 1 metro de espesor.

Evaluaciones del potencial productivo

El conocimiento tecnológico, la superficie y la calidad de la tierra dedicada al cultivo de maíz se transforman constantemente. Por eso es que los diferentes intentos para evaluar el potencial productivo de este grano también han ido cambiando. En 1977, a partir de 2,545 pruebas de campo llevadas a cabo durante el período 1952-1977, se realizó una primera evaluación del potencial productivo del maíz. Los experimentos involucrados en este estudio fueron realizados con las primeras generaciones de maíces mejorados y los maíces de los productores (razas nativas de maíz).

Hasta antes de la década de los ochenta, los investigadores del INIFAP y de otras doce instituciones del país habían realizado más de 800 experimentos en regiones productoras bajo riego y más de 2,500 experimentos de campo en terrenos de agricultores cooperantes en las principales regiones productoras bajo régimen de temporal. En esos ensayos, típicamente en áreas de 0.3 a 0.5 ha, se estudió la respuesta del maíz a la fertilización, a la densidad de siembra, así como a otras prácticas de producción y protección. Estos experimentos fueron conducidos a lo largo de 30 años y sus resultados integran los patrones de rendimiento asociados al clima y la edafología de distintas regiones productivas del país.

En 1991, el Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología (PRONAMAT) del mismo INIFAP, aportó información nueva sobre el desempeño de la segunda generación de maíces mejorados en las PA de riego y de temporal, de muy buena y buena productividad, respectivamente. En 1996 se actualizó la información acerca de los rendimientos a partir de proyecciones con apoyo empírico. Finalmente, en 2000 se incluyeron resultados de experimentos conducidos en ocho estados del sur-sureste bajo régimen de riego. Estos resultados comprenden proyecciones sobre tierras potencialmente irrigables y sobre el uso potencial de tierras con calidad agrícola, que actualmente se subaproveen con el sistema de ganadería extensiva.

La evaluación de 1977 (Turrent Fernández A., 1986.)

Los 2,545 experimentos conducidos bajo temporal en el periodo 1952-1977 fueron agrupados en 72 agroecosistemas de maíz y se definieron a partir de seis estratos arbitrarios basados en el cociente de la precipi-

tación sobre la evaporación, con tres estratos térmicos y cuatro estratos por la calidad de la tierra. La cuantificación del rendimiento potencial y la superficie cosechada condujo a la estimación de la producción agregada de maíz en diferentes niveles: país, estado, distrito de temporal y municipio. Además, se dispuso de 819 experimentos de siembra de maíz bajo riego que permitieron estimar la producción por otro procedimiento similar simplificado. El resultado de este ejercicio fue que la producción potencial de maíz era de 20.17 millones de toneladas (t) anuales a escala nacional, mientras que la producción observada en 1977 fue de 10.05 millones de toneladas anuales. La superficie cosechada para ambas estimaciones fue de 7.48 millones de hectáreas, de las cuales 0.97 millones fueron de riego y 6.51 millones de temporal. Estas superficies son inferiores a las correspondientes superficies sembradas.

*Evaluación de 1991 (Aveldaño Salazar et al., 1992;
Turrent Fernández A. et al., 1996).*

Este estudio tuvo como objetivo evaluar la tecnología para el cultivo de maíz bajo riego y temporal en las PA de muy buena y de buena productividad. Se realizó con 302 módulos de riego en los ciclos agrícolas otoño-invierno (OI) 87/88 y primavera-verano (PV) 1988, como muestra representativa de un millón de hectárea de maíz bajo riego, y con 201 módulos de temporal en los ciclos PV 1989 y PV 1990 para muestrear 1.77 millones de ha de temporal de buena calidad. En ambos casos los módulos fueron de una ha, y fueron administrados de manera cooperativa entre el productor y el investigador residente del INIFAP. Los insumos, particularmente la semilla para la siembra y la tecnología, fueron aportados por el proyecto, en tanto que el productor contribuyó con la mano de obra y la fuente de potencia requeridas. Se establecieron, por coordenadas al azar, de dos a cuatro predios vecinos como referencia por módulo (testigos), y en ellos el productor aceptó que se diera seguimiento a la operación de su campo y sus resultados. Esta parte del estudio produjo 730 parcelas referentes bajo riego y 567 bajo temporal. Los rendimientos promediaron 6.15 toneladas por hectárea (t/ha) bajo riego, 4.30 t/ha en la PA de muy buena productividad y 3.80 t/ha en la PA de buena productividad, en las parcelas en que se usó la tecnología recomendada por INIFAP; los rendimientos homólogos de referencia fueron 3.63, 2.88 y 2.88 t/ha. Las diferencias considerables se asociaron

con el mayor potencial productivo de los híbridos del INIFAP y con mayores densidades de siembra, aunque con fertilización similar, en relación con las parcelas referentes. A partir de esta información y al compararla con el estudio de 1977, se hicieron proyecciones para la producción nacional de 1985-1989 y para el periodo 2005-2009. La producción potencial fue de 25.77 millones de toneladas anuales para el periodo 1985-1989, y de 28.62 millones de t anuales para el periodo 2005-2009. Ambas proyecciones se hicieron con los 7.10 millones de ha de superficie cosechada, donde 1.1 millones son de riego y 6 millones son de temporal.

Evaluación de 2000 (Turrent Fernández A. et al., 2004)

El 62% de agua dulce del país fluye por los estados de Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Quintana Roo, Yucatán, Campeche, Tabasco y Veracruz. Sin embargo, muy poca infraestructura hidroagrícola ha sido desarrollada en esta región sur-sureste, donde anualmente se cosechan aproximadamente dos millones de hectáreas de maíz. Las tierras se manejan bajo el sistema de temporal y sólo se siembran durante el ciclo PV, mientras que en el ciclo OI, que es en su mayoría seco, permanecen ociosas. Se estima que hay un millón de ha de tierras de labor cercanas a fuentes abundantes de agua (ríos, lagunas, acuíferos someros) que podrían sembrarse dos veces al año si se dotaran de infraestructura de riego.

Con el objetivo de ampliar el conocimiento respecto del potencial productivo del maíz del campo mexicano, se realizaron estudios de campo durante los ciclos agrícolas OI 96/97, OI 97/98 y OI 98/99, aprovechando la disponibilidad de predios con riego escaso y disperso que existen a nivel regional. En el ciclo OI 96/97 se realizaron experimentos en 261 localidades de los ocho estados; se compararon tres híbridos y cinco variedades de polinización libre del INIFAP con 22 híbridos comerciales ofrecidos por los consorcios multinacionales. En los ciclos OI 97/98 y OI 98/99 se hicieron diez experimentos en otras localidades en las que se estudió la respuesta de seis híbridos del INIFAP a la fecha en que se sembró, a la fertilización con nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), y a la densidad de siembra bajo condiciones de riego. Los resultados muestran que la tecnología actual permite obtener un rendimiento promedio del orden de 8 t/ha en el millón de ha estudiado.

Es muy probable que los sistemas de riego que se puedan introducir en las tierras de temporal del sur-sureste sean pequeñas irrigaciones, debido a la topografía de lomerío y la profundidad somera de gran parte de esos suelos. El sistema de riego presurizado del tipo pivote central o de desplazamiento lateral podría ser la alternativa en muchos casos, como ya lo han experimentado productores visionarios del sureste. Hasta ahora, la escasa interconexión eléctrica actúa como barrera al desarrollo de este tipo de riego.

Finalmente, la consideración de la capacidad maicera del campo mexicano quedaría incompleta si se excluyeran la reserva de tierras de labor que actualmente se subutilizan bajo el sistema de ganadería extensiva. Se estima que hay 12 millones de ha que utilizan este manejo en los mismos ocho estados del sur-sureste. En el sexenio 1988-1994, el poder Ejecutivo Federal tuvo bajo su consideración el Proyecto “Los Ríos”, que planteaba construir infraestructura para el riego de un millón de ha de tierras limítrofes entre Campeche y Tabasco, pero lo descartó. Gran parte de estas tierras se manejan bajo ganadería extensiva.

*Producción nacional 2002-2007 (SIAP, 2010;
SAGARPA/FILCOS/COLPOS, 2008-2009)*

La producción nacional promedio del periodo 2002-2006 fue de 20.58 millones de toneladas de maíz al año, mientras que la producción potencial estimada es de 29 millones de toneladas anuales, y se importan alrededor de 10 millones de toneladas.

Probablemente en los próximos 10-15 años, en la búsqueda de su seguridad alimentaria, la sociedad tomará la decisión de hacer los ajustes necesarios al Artículo 27 constitucional con el fin de que se apruebe el uso agropecuario integrado para esas tierras. Si se siembra maíz bajo riego en dos millones de estas ha en el ciclo OI, se tendrían por lo menos 16 millones de toneladas más al año.

La estimación del potencial productivo del maíz para los siguientes 10-15 años es de 53 millones de toneladas anuales y de éstas: a) 29 millones corresponden a lo que se podría producir actualmente a partir de las tierras de maíz en las que ya se cosecha cada año —1.1 millones de ha bajo riego y 6 millones de ha de temporal; b) 8 millones adicionales en el Sur-Sureste después de acondicionar con infraestructura hidroagrícola un millón de ha de tierras de labor; c) 16 millones de toneladas

cosechables en dos millones de hectáreas de la reserva de tierras, que en la actualidad están bajo manejo ganadero extensivo y que tendrían que acondicionarse para el riego.

En el inciso b, no se demerita el trabajo de la SAGARPA en el “*Proyecto para la Producción de Maíz de Invierno en la Región Sur-Sureste de México (2008-2009)*”;² las siembras de maíz de Otoño-Invierno en la región Sur-Sureste representaron en el periodo 2000-2007, el 14% de la superficie sembrada y el 15% del volumen de maíz producido a nivel nacional, sin embargo, es necesario puntualizar que la falta de infraestructura hidroagrícola limita el potencial real de producción actual.

La importancia de la producción de maíz en la región Sur-Sureste estriba en las altas precipitaciones y los grandes volúmenes de agua de escorrentía provenientes del Papaloapan, Grijalva, Usumacinta y otros cientos de arroyos que desembocan al mar. Este volumen excedente de agua es fuente de abasto hidráulico para la producción de maíz y debería maximizarse su aprovechamiento mediante la inversión de infraestructura hidroagrícola adecuada de gran escala. Lamentablemente, las acciones de la SAGARPA representan únicamente una medida de corto plazo que ayudará pero que no es la solución efectiva definitiva. Si bien, en la zona Sureste del país existen niveles altos de precipitación, no se alcanza el nivel freático de los mantos acuíferos por tal excedente de agua (Yañez-Arancibia y Day, 2010), como plantea la Sagarpa en su informe de evaluación de desempeño e indicadores de impacto 2008-2009. De esta afirmación errónea parte SAGARPA, para justificar que a pesar de la falta de inversión en infraestructura, si hay buen y suficiente abasto de agua para la producción de maíz, y además, aún cuando fuera cierto, no se trata de aprovechar y sobre-explotar un manto freático sino de desarrollar proyectos de infraestructura estratégicos e inyectar presupuesto apropiado para el aprovechamiento máximo de los recursos hidráulicos.

² SAGARPA diseñó el “Programa Especial para el Desarrollo Rural de la Región Sur-Sureste de México” que forma parte de las políticas diferenciadas, para áreas de agricultura tradicional y áreas con potencial productivo agrícola. Este Programa es parte del *Proyecto para la producción de Maíz de Invierno en la Región Sur-Sureste de México* aplicado en las áreas definidas por el INIEAP con alto y mediano potencial productivo para el cultivos de maíz (Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Puebla, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán) en el ciclo OI 2008-2009), conformado por productores mexicanos sujetos de crédito y que integrados en grupos de productores u organizaciones legalmente constituidas.

Para esta región del país, la SAGARPA estimó que el crecimiento en la superficie sembrada de maíz podría alcanzar hasta 871 mil ha, pretendiendo incrementar los rendimientos promedio hasta 3.5 t/ha. La meta de producción de maíz planteada para la región es de 3 millones de toneladas adicionales antes/durante el 2012, pero para lograrlo, es fundamental un esquema de modernización y acondicionamiento de infraestructura hidroagrícola como ya se planteó en el párrafo anterior.

Es conveniente aclarar que el potencial productivo examinado en este capítulo se refiere solamente al uso de tecnología de origen público y con maíz no transgénico. Por lo tanto, queda claro que no se justifica el uso de maíz transgénico, que implica riesgos importantes para México como centro de origen de este cereal, y que además no aumenta los rendimientos (ver Capítulo 5). Además, el recuento anterior confirma que se puede evitar la dependencia tecnológica usando tecnologías nacionales y recuperar la suficiencia alimentaria de maíz en nuestro país.

Conclusiones en torno al potencial productivo de maíz en México: alternativas agronómicas

El potencial productivo del maíz del campo mexicano ha sido objeto de estudio por parte del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) desde el año 1963, y ha continuado en 1977, 1991 y 2000.

Los productores mexicanos cosechan anualmente maíz en 1.1 millones de ha de riego y 6 millones de ha de temporal, y producen 20.58 millones de toneladas anuales. Una fracción considerable de estas tierras se maneja con dosis subóptimas de insumos. La cosecha podría aumentar hasta 29 millones de toneladas en la misma superficie si se aplicara la tecnología pública disponible en la totalidad de las tierras sembradas.

En los próximos años, mediante la inversión en infraestructura hidroagrícola, intercomunicación eléctrica y algunas modificaciones a la Constitución, la producción nacional de maíz podría incrementarse hasta llegar a 53 millones de toneladas anuales. Esto implica que hay un potencial claro para que la producción de maíz en México sea excedentaria sin tener que usar maíz transgénico u otras tecnologías extranje-

ras. A este potencial, que dependería del uso de prácticas agronómicas tradicionales y usando las variedades mejoradas existentes en México, se debe sumar la producción maicera en sistemas tradicionales de policultivo (milpa), que tienen ventajas ecológicas, y de otra índole.

Variedades mejoradas de maíz de instituciones nacionales y fondos públicos.

De 1940 a 2007, el INIFAP y sus antecesores desarrollaron 1,097 variedades mejoradas de diferentes cultivos, de los cuales 251 variedades e híbridos fueron de maíz. La primera variedad inscrita en el cultivo de maíz fue Celaya II, cuyo registro data de 1942. Desde sus inicios, la investigación ha privilegiado la agricultura de mayor potencial productivo, teniendo una deuda con la agricultura y los agricultores tradicionales y de subsistencia (aunque vale destacar los proyectos de selección masal de maíces nativos impulsados por el Dr. Fernando Castillo del Colegio de Postgraduados). En otras instituciones públicas como la Universidad Autónoma de Chihuahua (UACh), la Universidad de Guadalajara (UDG), la Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL), la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), el Colegio de Posgraduados (CP) y la Universidad Veracruzana, entre otras; también se han generado más de cien variedades mejoradas de maíz, así como estudios que permiten valorar los aportes de la agricultura tradicional al logro de la producción sustentable de maíz. La importancia de los materiales generados, junto con el aprovechamiento de las variedades locales, es que podrían apoyar un esquema nacional de abastecimiento de semillas y avanzar en el mejoramiento *in situ*. Con el uso adecuado de estos materiales, no se tendría necesidad de recurrir a los materiales transgénicos o híbridos extranjeros.

Cabe mencionar que del total de la superficie de maíz sembrado a nivel nacional, 75% corresponde a cultivos de variedades nativas. Estas variedades seguramente se continuarán sembrando con base en la selección y mejoramiento milenario de los agricultores. Se sabe que anualmente en todo el país, en 2.3 millones de unidades de producción de maíz, la frecuencia de recombinación genética es tan dinámica que son posibles muchísimas combinaciones, lo que permite a los campesinos contar con nuevas características y bondades de este cultivo por medio de

la selección de semillas. En estos materiales existe un gran potencial de mejoramiento probado por los métodos de selección masal (Ver trabajos del Dr. Fernando Castillo, por ejemplo, Castillo González *et al*, 1999).

La semilla de las variedades mejoradas que desarrollaron el INIFAP y sus antecesores fue incrementada y distribuida extensivamente por la Productora Nacional de Semillas (PRONASE). Si bien estas variedades incluían los híbridos y diversas variedades, las variedades de polinización libre fueron difundidas masivamente para diversas condiciones del país. Sin embargo, debido al cierre de la PRONASE, urge una estrategia nacional para promoción y abastecimiento de semillas mexicanas que sean una alternativa para elevar rendimientos, evitando la dependencia de los grandes monopolios semilleros. Diversos investigadores del INIFAP han logrado que se desarrollen algunas empresas de semillas que retoman la actividad que realizaba la PRONASE, pero para resolver la problemática a nivel nacional aún es necesario un mayor impulso a esta estrategia. El desmantelamiento de PRONASE coincide con la estrategia de promoción de los transgénicos y con la solicitud del gobierno mexicano a Cargill-Monsanto y ADM-Dreyfus-Novartis-Maseca de hacerse cargo de la distribución de semillas de maíz (Schwentesi *et al*, 2000).

En el pasado, las variedades del INIFAP permitieron la producción de grano sin riesgo fitopatológico alguno, en cambio, con la suspensión de la PRONASE y el reducido número de empresas semilleras nacionales, recientemente se ha incrementado la incidencia de enfermedades que limitan la producción, como son el caso del carbón de la espiga (*Fusarium* sp.) y varias más. Aunado a lo anterior, si se autoriza el uso de granos transgénicos no se resolverán los problemas agrícolas, pues estas semillas no responden a las necesidades ni a la problemática del campo mexicano, como tampoco presentan mayor productividad según estudios realizados en otros países (ver capítulos 3 y 5) y reportes de la *Union of Concerned Scientists*. Además, el abasto de semillas en manos de los monopolios semilleros causará aumentos en los precios con respecto a los híbridos generados en México, y provocará una mayor dependencia tecnológica.

Por otra parte, la ausencia de la PRONASE impide el abastecimiento de semillas en lugares apartados que las compañías privadas de semillas con tecnología y capital transnacional no cubren. Estas compañías se orientan a los nichos del campo mexicano que ofrecen mayor rentabilidad para sus actividades de producción y comercialización de semillas certificadas, que son regiones de riego o buen temporal, con produc-

tores de tipo empresarial. De esta manera, los productores que utilizan variedades de polinización abierta han quedado fuera del servicio de semillas certificadas. Evidentemente, ante la ausencia de la PRONASE ha disminuido la presencia de las variedades del INIFAP en el campo mexicano. Una alternativa para revertir este bajo uso de semilla mejorada de instituciones nacionales en los próximos años sería la generación de empresas en diferente escala (pequeña, mediana y grande) con la participación de asociaciones de productores y egresados de escuelas de agronomía, y con el mayor número posible de variedades. Del mismo modo, es fundamental que, a través de investigación participativa, se establezcan en las zonas indígenas, bajo condiciones ecológicas y sociales específicas bancos de germoplasma de maíz que permitan la conservación y evolución de las razas locales.

La falta de maíz en México tiene su origen en las incorrectas políticas públicas agropecuarias, orientadas a importar grano en lugar de producirlo en México, bajo el argumento de que el precio internacional del grano era menor que lo que costaba producirlo en México, lo que implicaba un ahorro por tonelada de aproximadamente 20 dólares. Esta diferencia de precio relativo se debe a los grandes subsidios que recibe la agricultura estadounidense, pero además no toma en cuenta la diferencia en calidad del grano, ya que el mexicano es mucho mejor. Además, esta estrategia no considera que producir el maíz en el país tiene ventajas sociales, culturales y ambientales intangibles, así como también económicas si se consideran los precios diferenciales dada la alta calidad del maíz mexicano. Además permitiría recuperar la autosuficiencia y soberanía alimentaria frente a condiciones cambiantes de clima y de los mercados de alimentos en el mundo.

Desde 1994 no se ha otorgado apoyo a la producción y productividad de maíz en México. Por lo tanto, la capacidad instalada para producir maíz en nuestro país no ha sido estimulada correctamente, se ha erosionado la infraestructura y los elementos con que contábamos para producir este grano con eficiencia y en cantidades suficientes y excedentarias. Desde la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) y con mayor énfasis en el sexenio anterior, se desestimuló la producción de maíz, aduciendo que miles de productores de este grano deberían dedicarse a otros cultivos. Una buena parte de esos productores se convirtieron, de manera irremediable, en emigrantes. No sólo no se apoyó la producción, sino que además se agudizaron gravemente las desventajas comparativas de los agricultores

mexicanos con respecto a los apoyos que se otorga a los productores de maíz en Estados Unidos, ya que en México no se apoya la investigación agronómica³ (Ávila-B., 2010), no se impulsa la multiplicación y el abasto de semillas mejoradas nacionales, ni se promueve el acceso a fertilizantes, agroquímicos, insecticidas, herbicidas y asesoría técnica a precios justos, así como a tecnología tradicional o más moderna desarrollada en México, que bien podría coadyuvar a aumentar los rendimientos y la producción total de maíz en el país (*ver también capítulo 7*). Dado lo anterior, parece muy extraño y paradójico que se quiera promover la tecnología de transgénicos desarrollada para condiciones distintas a las nuestras, o que se quiera incentivar la biotecnología agrícola contemporánea sin contar con un plan integral de desarrollo del campo y el mejoramiento de los principales cultivos de México.

La insuficiente producción de maíz en México no es tan grave gracias al incremento de la superficie destinada a su siembra en Sinaloa, así como a los altos rendimientos obtenidos en la producción de este grano en este estado. Sin embargo, esta situación ha desencadenado otro tipo de problemas cuyo principal origen radica en que la infraestructura y los sistemas de riego de las tierras sinaloenses fueron planeadas originalmente para la producción de hortalizas y frutales de exportación. Ahora, gran parte de dichas extensiones son ocupadas para la siembra de maíz, cultivo impulsado por grupos con grandes intereses económicos que promueven la autorización de la siembra de transgénicos en el norte del país. Además, estos altos rendimientos se deben en parte a los altos subsidios que reciben los agricultores de maíz en esa región y que absorben gran parte de los subsidios destinados al campo por el Estado. En este sentido, no debe olvidarse que entre el 81 al 85% de la producción de maíz proviene de áreas de temporal (Anónimo, 1999; Ramírez V. *et al*, 2012).

Frente a la disyuntiva anterior, es importante mencionar que en los primeros años de siembra bajo condiciones óptimas, el uso de maíz transgénico no implicó mayores rendimientos (*ver capítulo 4*). En el capítulo 6 de este expediente se resumen otras insuficiencias de estos desarrollos que, sin embargo, sí implican riesgos importantes y particulares para el caso de México por ser su centro de origen.

³ Hacia 1986 al fusionarse las tres instituciones nacionales de investigación forestal, agrícola y pecuaria, el INIFAP contaba con tres mil investigadores; hacia el 2010 esa cifra era de 1063 investigadores.

Variedades liberadas por otras instituciones públicas

En forma paralela al trabajo realizado por el INIFAP, en otras instituciones públicas también se ha llevado a cabo mejoramiento genético de maíz y otros cultivos. Algunas de estas variedades mejoradas se inscriben en el Catálogo de Variedades Factibles de Certificación (CVC) —ahora Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV)—, por medio del cual se tiene acceso al proceso de inspección y calificación de semillas. Algunas de estas instituciones son: UACh, UDG, UANL, UNAM y UAAAN. La otra fuente fundamental de variedades son todas las semillas locales, que se incrementan específicamente para autoabasto. Una alternativa de abastecimiento de semillas para México debería considerar necesariamente, en primer plano, las variedades del INIFAP por su número y adaptación a condiciones específicas, así como por el dominio de su recomendación. Sin embargo, en forma paralela debe fortalecerse la participación de universidades y otras instituciones públicas que posean materiales mejorados. El INIFAP cuenta con el mayor número de variedades mejoradas listas para utilizarse en un programa emergente, como el que pretende la SAGARPA, además de ser la institución de investigación y desarrollo de variedades de maíz más importante en el país, por lo que podría realmente impactar al campo mexicano si se apoyara como antes.

Tecnologías tradicionales como alternativa para la producción sustentable de maíz en México: la milpa y el policultivo como sistemas que favorecen la agrobiodiversidad

La milpa es un agroecosistema altamente diversificado, cultivado desde los tiempos prehispánicos en Mesoamérica, en lo que hoy es México. El tamaño y la riqueza de sus cultivos dependen del contexto ecológico (clima, suelo, agua, vegetación circundante, pendiente, entre otros), socioeconómico (estructura y dinámica de la organización familiar y la fuerza de trabajo, necesidades de consumo, desarrollo de mercado de productos y el laboral, principalmente), político (instituciones sociales, políticas de desarrollo, tratados, organizaciones políticas) y cultural (cosmovisión, significados, aspectos simbólicos, diversidad en la alimentación, entre otros).

Las primeras descripciones de la milpa fueron realizadas por cronistas españoles como fray Diego de Landa, en Yucatán. Existen igualmente

trabajos etnohistóricos del periodo colonial que nos ofrecen información valiosa (García Bernal, 1976; Suárez Molina, 1977; Patch, 1978; Farris, 1984, y otros). Entre los primeros estudios de la milpa realizados en el siglo XX que señalan sus condiciones productivas y sus constricciones encontramos, por ejemplo, los de Lundell (1933), Steggerda (1942), Pérez Toro (1942), Emerson (1953), Hernández-Xolocotzi (1959) y Bye y Linares (1983).

Todos estos trabajos coinciden en señalar que la milpa ha formado parte del sistema agrario de la mayor parte de las familias rurales indígenas y mestizas de nuestro país. La riqueza de plantas cultivadas y de recursos genéticos se combina con un complejo mosaico orográfico, climático y de suelos, que van desde pedregosos hasta arcillosos, lo que ha originado una diversidad de prácticas agrícolas (varios ciclos al mismo tiempo, diferentes cuidados, deshierbes múltiples) orientadas a lograr una alta productividad y un mejor control de enfermedades, plagas y depredadores, haciendo un uso mucho más eficaz de los elementos ambientales que son sustento de la agricultura: suelo, irradiación solar, agua, etcétera. Además, estos sistemas de policultivo son opciones agroecológicas sustentables con menores impactos al ambiente que los monocultivos extensivos altamente tecnificados (Altieri M. y Nicholls C., 2000). Un eslabón indisoluble de este conjunto de estrategias productivas es la cosmovisión de los milperos. Para ellos, los rituales y los aspectos espirituales ligados a la agricultura milpera son indispensables e indisolubles. Diversos pueblos realizan ofrendas a la Madre Tierra, piden permiso de cultivo, hacen la petición de lluvia y agradecen la cosecha, entre otros rituales (Limón Olvera, 2000).

La economía milpera se basa en la siembra de muchos cultivos y el mantenimiento productivo de plantas cultivadas y animales domésticos, así como el favorecer diversas especies silvestres de plantas y animales. La diversidad del cultivo milpero está íntimamente asociada a la variedad de nichos microclimáticos generados por gradientes locales en la humedad, temperatura, radiación solar, etcétera, y el aprovechamiento óptimo de los recursos, la energía y el espacio en el campo de cultivo y entre las milpas. Así, los milperos cultivan de una a cinco milpas que se atienden secuencial o simultáneamente. Esta estrategia busca la seguridad de la cosecha. Además, entre las actividades de la economía milpera, encontramos la cría de animales, la ganadería de monte y de solar, el aprovechamiento forestal, la cacería, la apicultura y la recolección de plantas alimenticias, medicinales y ornamentales.

En particular, en los policultivos de la milpa pueden estar intercalados diversas razas de maíces, calabazas y frijoles, así como el chilacayote y tubérculos como el camote, la yuca, la jícama, las calabazas. Igualmente, algunos otros cultivos pueden sembrarse al lado del maíz, tales como el ñame, los chiles, los tomates, la chaya, flores, frutas y hortalizas como el pepino o la sandía. El ciclo del maíz va desde las siete semanas, conocido como *nal t'el* en Yucatán, hasta el de seis y ocho meses en Oaxaca o la sierra de Sinaloa.

Terán y Rasmussen reportaron la existencia de 16 especies en las milpas yucatecas del siglo XVI, mismas que pertenecen a 9 familias botánicas y representan 67 variedades de las especies cultivadas. Para las milpas mayas actuales, estos mismos autores reportan un total de 32 especies con 95 variedades en total para las milpas estudiadas (Terán y Rasmussen, 1994). En el sur de Yucatán se encontraron milpas mayas con un total de 18 especies, 9 poblaciones de maíces y 32 variedades de hortalizas, flores y tubérculos (Lazos, 1992). En Ocotac Chico, en la sierra de Santa Marta, Los Tuxtlas, se encontraron 22 especies cultivadas y 65 no cultivadas de las cuales el 31 % tiene algún uso (Martínez F., 2008). Con esta riqueza las familias logran la cosecha de cultivos tiernos y maduros a lo largo de todo el año.

En los últimos quince años, bajo la política nacional agropecuaria y de desarrollo rural después de la introducción del TLCAN, esta riqueza de policultivos ha disminuido drásticamente. Actualmente, las familias indígenas y mestizas cultivan sólo uno o máximo cuatro espacios de milpa, de dos a cuatro razas de maíces, dos a cinco cultivos intercalados y de dos a seis cultivos aledaños. A pesar de la grave problemática comercial y productiva reflejada en los bajos rendimientos, la fuerte erosión de suelos, las malezas, sequías, plagas de almacenamiento y los bajos precios, en Oaxaca se sigue encontrando familias milperas con policultivos que incorporan entre cuatro y 12 variedades de frijol, por ejemplo. Sin embargo, la superficie de siembra bajo estos regímenes de policultivo ha disminuido considerablemente y en muchas comunidades también de Oaxaca, los precios bajos de la fuerza laboral y de los cultivos, la alta migración y la escasez de mano de obra han ocasionado que se abandonen las milpas y se dé lugar a monocultivos de maíz.

La transformación en monocultivos debe considerarse como alarma roja internacional, pues la pobreza de la diversidad agrícola provoca pobreza alimentaria y nutricional para la población rural y urbana, pérdida de la autosuficiencia alimentaria así como mayor dependencia

de las importaciones, tanto de alimentos básicos como de alimentos industrializados de baja calidad nutricional. Por ello, el retomar las tecnologías tradicionales como la milpa y los policultivos es muy importante. En la siguiente sección se presentan algunas estrategias en este sentido que constituyen alternativas para la producción sustentable de maíz en México y que, sin duda, contribuirían a alcanzar la soberanía alimentaria del país.

Experiencias de agroecología comunitaria: el caso de GEA

Agricultura, comunidad y territorio

El Grupo de Estudios Ambientales A.C. (GEA) acompaña desde 1977 a comunidades campesinas e indígenas. El Maestro Efraím Hernández Xolocotzi, asesor de esta asociación, contribuyó a que se reconocieran y valoraran los antecedentes que albergan estas comunidades, como la milpa, un sistema agrícola tradicional de raíz milenaria que reposa en un complejo entramado cultural y biológico, y los conocimientos tradicionales que conforman la ciencia campesina o *ciencia de huarache*, como él la llamaba (Díaz León y Cruz León, 1998). El conocimiento y entendimiento de esta enorme riqueza ha resultado de un constante diálogo de saberes, a contracorriente del extensionismo que desde entonces fomentaba el modelo agroindustrial. A partir de los noventas, el gobierno mexicano practicó en forma sistemática una política de expulsión de los campesinos y de apertura comercial (Marielle, 2007). Ambos procesos han ido minando esta riqueza de manera preocupante.

Como se ha insistido en este expediente, México es centro de origen y diversidad de muchas plantas cultivadas y auspiciadas, se trata de procesos de domesticación y coevolución extraordinariamente ricos, basados en formas de vida y relaciones de larga duración. Los maíces nativos y otros productos de las milpas, como frijoles, calabazas, que-lites, chayotes, chiles, han sido y son seleccionados, intercambiados, sembrados y cuidados por los pueblos indígenas y campesinos (Esteva y Marielle, 2003).

Año con año, en las milpas mexicanas, respondiendo a diferentes situaciones y contingencias ambientales y climáticas, con tecnologías y conocimientos propios que optimizan las limitantes de espacio, propician los equilibrios del suelo, diversifican la producción; ahí resiste

esta agricultura que crea y recrea el sentido de colectividad y que ha garantizado una alimentación sana y diversa, con innumerables tradiciones culinarias.

Estos pueblos, como guardianes de las semillas nativas, tienen una importancia fundamental frente a la erosión genética del sistema alimentario mundial, a la agricultura industrial y al control de las empresas. La pérdida de la agrobiodiversidad reduce la seguridad alimentaria mundial. Antes de la introducción de la Revolución Verde, y de la dependencia de fitomejoradores y empresas semilleras, el sistema alimentario nacional se basaba en el germoplasma y en la experiencia campesina (Boege, 2008).

En la antigua concepción del *Altepetl* (*in atl, in tepetl*, el agua, la montaña), como unidad o integralidad de un pueblo con su territorio, se reflejan formas de organización social de los *pueblos del maíz*, herederos no sólo de una agricultura milenaria, sino también de formas colectivas de vivir en armonía con el agua, con la montaña, con la tierra. En muchas regiones del país aún se expresan estos modos que buscan equilibrios y relaciones territoriales respetuosas; pueblos que han desarrollado y adaptado estrategias de sobrevivencia y tejidos sociales para seguir existiendo; que han sabido ocupar, domesticar, diversificar y conservar muchas riquezas.

No se trata de sistemas sociales acabados, perfectos o inmutables, sino que están en constante movimiento y cambio. De hecho se encuentran muy deteriorados por las presiones del exterior, del sistema social dominante; pero su capacidad de resistencia los mantiene como expresión actual de otra matriz civilizatoria, con cosmovisiones, conocimientos, creencias, sistemas normativos y de valores, educación y lengua propias, formas de propiedad, de trabajo y tecnologías, entre otros elementos que se sustentan en la milpa y el territorio (Rendón, 2004).

Estos son algunos antecedentes que ayudan a entender cómo, a contracorriente de las políticas neoliberales, el México indígena y campesino se mantiene vivo. Cabe señalar que más del 50 por ciento del territorio nacional se encuentra bajo régimen de propiedad social, en manos de ejidos y comunidades, y que buena parte de los bosques y selvas del país está bajo la custodia de estos pueblos.

Frente a la crisis ambiental, climática y alimentaria, con sus múltiples causas y amenazas, frente a los cambios tecnológicos vertiginosos y a las políticas, leyes y programas agroalimentarios y ambientales

implementados en los últimos años, en cada región cada comunidad encara de diferentes maneras su problemática agrícola y territorial, en muchos casos aportando prácticas, estrategias y conocimientos muy valiosos, no para volver al pasado sino para construir un futuro más sustentable.

La comprensión y el fortalecimiento de la agricultura campesina-indígena implica entonces mirar la integralidad ecológica de los territorios y la racionalidad de su manejo, y su relación con los sistemas normativos y mecanismos de regulación de los recursos naturales en cada lugar.

Se hace camino al andar...

En este capítulo queremos compartir nuestra experiencia hacia una agroecología comunitaria, desde la vivencia del Programa Sistemas Alimentarios Sustentables (SAS) de GEA, como parte de una propuesta más amplia: el Programa Integral Regional de Manejo Campesino de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios Sustentables.⁴ Presentamos algunos elementos de su enfoque y estructura, y en especial los aprendizajes del trabajo agroecológico.

En 1994, GEA se acercó a comunidades de la montaña baja de Guerrero por invitación de la organización campesina SSS Sanzekan Tinemi,⁵ entonces comenzó un proceso de vinculación e intercambio con más de 20 comunidades que marcaría el inicio de un camino de mutuo aprendizaje y de construcción de alternativas concretas.

Si bien en esta región las comunidades enfrentan una situación de gran pobreza y procesos de erosión ambiental y social acelerados, en los diagnósticos comunitarios, pronto se encontraron muchas riquezas, así como apuestas y desafíos. El primer reto fue empezar a conocer y entender el manejo campesino del territorio en cada comunidad, esto

⁴ Trabajo con el que GEA ganó el Premio Ecuatorial 2012 otorgado por el PNUD a 25 iniciativas locales de todo el mundo que avanzan hacia el desarrollo sustentable y la resiliencia (<http://equatorinitiative.org/>); el Premio AMER 2013, por la Asociación Mexicana de Estudios Rurales a la mejor experiencia en desarrollo rural sustentable, y el Premio Elinor Ostrom Award on Collective Governance of the Commons (<http://elinorostromaward.org/2013-Award-Results>).

⁵ Si bien la relación intensa con la Sanzekan Tinemi continuó por más de una década, después cada organización siguió su propio rumbo. GEA trabaja de manera directa con las comunidades y los ejidos a través de sus instituciones. Desde ahí las comunidades pueden convocar esfuerzos y articularse con diferentes actores en función de sus propios proyectos.

incluye los conocimientos, las prácticas y la organización o formas de gobierno.

Desde el nacimiento del Programa Manejo Campesino de Recursos Naturales (Macarena)⁶ de GEA, dos enfoques han orientado el trabajo regional.

En primer lugar, la familia campesina basa su reproducción en el manejo simultáneo de múltiples subsistemas complementarios: la parcela agrícola, el huerto, los animales domésticos, la recolección y la caza, la producción y venta de artesanía, la comercialización de pequeñas cantidades de productos en los mercados locales y regionales y el jornaleo dentro y fuera de la región. Las unidades familiares campesinas y las comunidades no se especializan; no son sólo agrícolas o ganaderas, forestales o artesanales, jornaleras o migrantes, sino todo al mismo tiempo. La diversificación de actividades, no la especialización, permite disminuir los riesgos y garantizar la sobrevivencia. Nuestras acciones buscan fortalecer estas estrategias y sistemas diversificados, en ellos se basa el diseño del programa integral regional.

En segundo lugar, pensamos que la clave de un manejo sustentable del territorio y sus recursos está en las capacidades organizativas y de autorregulación de las comunidades, que dependen de la fortaleza de sus propias instituciones y de los mecanismos para convocar esfuerzos y resolver conflictos. Esto, además de una hipótesis de partida, ha representado un eje transversal para trabajar con las comunidades de la región.

Desde sus inicios el Programa Macarena se abocó a entender las instituciones en cada comunidad, y en particular las que regulan el acceso y uso de los recursos naturales: por qué y cómo se establecen, cómo se vigilan, cómo y por qué se ajustan. Se encontraron normas, acuerdos, prácticas y creencias que regulan tiempos, cantidades, lugares, reparto equitativo, entre otros aspectos, de cada recurso (agua, leña, palma, maguey, pastoreo-agricultura...), basados en conocimientos muy precisos y tendientes a buscar equilibrios entre la satisfacción de las necesidades y la sustentabilidad de su manejo y aprovechamiento (Aguilar *et al.*, 2002).

Los trabajos de Elinor Ostrom y de la Asociación Internacional para el Estudio de los Comunes (IASC por sus siglas en inglés) nos han

⁶ El programa Macarena fue iniciado por Jasmín Aguilar (q.e.p.d.) en 1995 y es coordinado por Catarina Illsley.

permitido reflexionar con mayor profundidad sobre la relación entre las instituciones locales y el estado de los recursos naturales (Ostrom, 2000), y entender a las comunidades como sistemas socioambientales complejos (Ostrom, 2009). En estos años hemos confirmado que la presencia y fortaleza de las instituciones comunitarias genera un margen de autonomía donde la toma de decisiones, basadas en la información y reflexión colectiva, puede representar la base para el control y el manejo sustentable del territorio.

Por ello, en esta experiencia hemos tratado de que todas las acciones fortalezcan la institucionalidad comunitaria. Cuando nos referimos a las instituciones comunitarias hablamos principalmente de las asambleas, los sistemas de cargos, el tequio, la fiesta y la propiedad colectiva de la tierra. La mayor parte de las comunidades con las que colaboramos son campesinos de origen nahua que han perdido su lengua materna, núcleos agrarios formados después de la revolución mexicana, que han heredado, generado y adaptado tradiciones organizativas a sus sistemas de gobierno.

La región pinta un complejo mosaico derivado de su particular historia de reparto agrario. Se encuentran comunidades constituidas por pequeñas propiedades, muchos pequeños ejidos y algunas comunidades agrarias, que se organizan en torno a autoridades agrarias y civiles, representadas por comisariados ejidales o de bienes comunales y comisarios municipales. Ambas autoridades convocan a asambleas para la toma de decisiones, también se nombran comités para atender aspectos de la vida comunitaria. Comisariados, comisarios y comités son parte de los sistemas de cargos reconocidos y respaldados por la comunidad. Los cargos se turnan en forma rotativa y no son remunerados, son entendidos como servicio al pueblo.

Estas formas de autogobierno local no son infalibles, pero siguen mostrando su flexibilidad, coherencia y capacidad de adaptarse a situaciones cambiantes. En la región, factores como la entrada de los partidos políticos, la cultura clientelar y la individualización de la pobreza, y situaciones que rebasan el ámbito de control de las comunidades, como la pobreza estructural, los programas de gobierno, el mercado, la migración, entre otros, tienden a romper con el cuidado que se ha implementado desde las instituciones locales. Esto se refleja en el creciente deterioro de los recursos naturales muy contrastante de una comunidad a otra. La capacidad de establecer un margen de autonomía y estructuras organizativas fuertes puede tener más peso sobre

la sustentabilidad que factores como la relación entre la extensión del territorio y su población (Díaz *et. al.*, 2008).

Acompañando la organización comunitaria del territorio

El Programa Integral Regional que GEA impulsa actualmente con una veintena de comunidades de los municipios de Chilapa, Ahuacuotzingo y Zitlala, estado de Guerrero, tiene como objetivo general fortalecer las capacidades comunitarias para avanzar hacia un mayor control y un manejo sustentable de sus territorios.

Se trata de una construcción colectiva de propuestas por la tierra, los montes, las aguas y la agricultura campesina, reuniendo los esfuerzos de asambleas, autoridades y comités comunitarios; de animadores y promotores campesinos; de colectivos de trabajo; de niños, niñas y jóvenes; de escuelas; y de los programas Macarena desde 1995, y SAS y GEAVIDEO desde 2001. Buscamos aprender sobre las relaciones que sustentan la vida comunitaria y reforzar los tejidos sociales.

Nos organizamos en líneas de trabajo que se articulan según los acuerdos de trabajo que se establecen con cada comunidad:

- El manejo comunitario del monte y la biodiversidad: línea Tepec, los montes, el cerro.
- La conservación del suelo y el agua de la comunidad: línea Coatl, laderas, barrancas, cauces y manantiales.
- La agroecología comunitaria: línea Tlalli, la tierra, la parcela.
- El manejo del ganado y las áreas de pastoreo: línea Wakax, vacas, bestias, burros y chivos.
- El patio, el solar y la vivienda campesinos: línea Chantli, el hogar.
- El agua, salud y alimentación con escuelas: línea Atzintli, nuestra agüita querida.

Estas líneas procuran ir nutriendo sueños y planes de trabajo comunitarios, escolares, colectivos y familiares, en diferentes espacios del territorio y niveles de toma de decisiones. El agua ha sido un elemento integrador. La planeación campesina de microcuencas, como parte de estos procesos, ha permitido trabajar con una mirada más integral.

En cada línea se desarrollan actividades de diseño metodológico, investigación, acompañamiento técnico, comunicación y formación. Los estudios de ecología, biología, geología, hidrología, agronomía, antropología, entre otros, y el uso de herramientas como la cartografía, han enriquecido nuestras capacidades para acompañar los procesos en las comunidades.

La formación en lo teórico, lo político y lo jurídico ha adquirido mucha relevancia para la defensa del territorio, las semillas y la vida. Como líneas transversales, para promover la valoración de las memorias, los saberes y las culturas campesinas, hemos impulsado la comunicación andariega y un proyecto educativo con niños, niñas y jóvenes: las Jornadas por la Madre Tierra.

Aprendiendo y enseñando, multiplicando el encuentro, se han ido tejiendo, poco a poco, espacios de generación, rescate e intercambio de saberes, y propuestas de formación con promotores de diferentes edades, con niños, jóvenes y adultos, con la comunidad, con estudiantes universitarios y entre comunidades. También se han tendido puentes con otras experiencias, con compañeros y compañeras de la región y de otras regiones.

En la región ha sido fructífera la vinculación con la Unidad Académica Preparatoria No. 26 de Chilapa, la radio educativa comunitaria Uan Milauak Tlajtoli y con algunas parroquias que desarrollan trabajos de medicina tradicional y cuidado del territorio.

Se han establecido procesos de colaboración cada vez más profundos con instituciones académicas como la Universidad Autónoma de Guerrero, la Universidad de los Pueblos del Sur, el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM, la Universidad Autónoma Chapingo y la Universidad Autónoma Metropolitana; estudiantes, profesores e investigadores han enriquecido su formación en la vinculación con las comunidades y han devuelto diversas investigaciones y tesis que enriquecen los proyectos desde diferentes campos de conocimiento.

Hacia una agroecología comunitaria

Hace más de diez años, los integrantes del Programa SAS iniciamos un diálogo con compañeros de varias comunidades campesinas guerrerenses, y nos decidimos a caminar juntos, con los principios de la agroecología como propuesta para avanzar hacia sistemas alimentarios

sustentables, es decir, pensando desde la producción hasta el consumo de los alimentos.⁷

En los primeros espacios de reflexión colectiva iniciamos el análisis de los problemas y las necesidades de la agricultura y comenzamos a proponer alternativas; poco a poco fuimos buscando en la memoria y la experiencia de la región al platicar lo que hacían los abuelos ante situaciones parecidas, lo que se dejó de hacer, lo que se sabe en cada pueblo. En talleres de diagnóstico revisamos con las comunidades en la historia y los calendarios de los sistemas de cultivo, para entender los cambios en los paisajes, en las prácticas agrícolas y en la comida. También buscamos otras experiencias que vinieran a reforzar la sustentabilidad de las parcelas.

A continuación presentamos algunos elementos de los diagnósticos y reflexiones sistematizadas por los promotores campesinos:

“El primer cambio tecnológico que recordamos fue el arado de fierro, hace más o menos 60 años. Pero desde los años setenta comenzaron a entrar las semillas híbridas y los fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos. En los primeros años las tierras dieron las mayores cosechas que recordamos, y muchos nos acostumbramos a esos nuevos modos de cultivar. Algunas familias fueron perdiendo formas tradicionales y fueron perdiendo la confianza en sus conocimientos”.

“El arado de fierro remueve bien la tierra para la siembra, pero los suelos se lavan más con las lluvias. Los fertilizantes químicos amucharon las cosechas sólo por unos años. Campesinos y parcelas nos acostumbramos a ellos, y ahora son más caros y ya no levantan igual las cosechas, aunque echemos más. Hay terrenos que de a tiro ya están muertos”.

“Las semillas mejoradas o híbridas, que también se compran cada año, han venido a ilusionarnos para que abandonemos nuestras semillas criollas, para que dejemos nuestros maíces, pero no en todos los terrenos se adaptan, en algunas comunidades los híbridos que dieron buenos resultados los fuimos acriollando”.

“Los plaguicidas químicos han matado a los insectos que dañan, pero también a los buenos y a la fuerza de nuestras tierras. Con los herbicidas limpiamos más rápido, pero hemos ido perdiendo las formas de trabajo familiar y, sobre todo, nuestra milpa tradicional de muchos

⁷ Los principios agroecológicos son explicados en el libro *¡SAS! Una experiencia campesina hacia Sistemas Alimentarios Sustentables*, coordinado por Catherine Marielle y publicado por GEA en 2008, el cual relata los primeros seis años de experimentación y promoción agroecológica regional del Programa SAS de GEA, iniciados en colaboración con la Sanzekan Tinemi.

cultivos. Ahora hay plagas, enfermedades, hierbas y zacates que antes no había y que difícilmente se controlan, pues ya se hicieron resistentes a los agroquímicos, que además cuestan mucho”.

El diagnóstico ponía énfasis en que muchas tecnologías comerciales, en vez de resolver los problemas de la producción campesina en esa región los habían hecho más grandes.⁸ Los problemas identificados eran muchos: falta de tierras, fertilidad, cambios en el clima, plagas, recursos familiares, emigración, pérdida de confianza en lo propio, entre otros, tal vez por eso algunos compañeros se animaron a conocer otras experiencias.

Comenzó así un proceso de capacitación y experimentación de diferentes prácticas, como los abonos orgánicos (aboneras, bocashi, agropilus); salsas, macerados, tés y caldos minerales para el control de plagas y enfermedades; trazado de curvas a nivel y recuperación de prácticas tradicionales para conservar suelo y agua; selección de semillas desde la parcela, entre otras.

Para compartir las propuestas, y con los acuerdos de probarlas cada quien en su parcela y de sistematizar, evaluar y poner en común los resultados de todos, emprendimos la Planeación Parcelaria Ecológica (PPE), en la que cada familia definía las prácticas que se animaría a realizar en el siguiente o los siguientes ciclos agrícolas. Así establecimos las primeras parcelas experimentales y los modos, tiempos y prioridades para darles seguimiento.

Para saber cómo iban saliendo los trabajos, acordamos poner atención en varios indicadores. Los escogimos porque de por sí son las señales que campesinos y campesinas observan para apreciar la salud de la milpa y la parcela. Cada año, cuando ya había elotes, se tomaron datos como el grosor y el color de las matas de maíz, la humedad de la tierra, las plagas y enfermedades y la diversidad de plantas comestibles.

⁸ Cabe señalar que el principal cultivo en la región es el maíz (en la mayoría de los casos la milpa), principalmente de temporal y para autoconsumo, algunas familias llegan a vender sus excedentes (en general la región es deficitaria de productos básicos). La mayoría de las familias tienen entre media y dos hectáreas de parcela, algunas no tienen tierras y trabajan como peones o medieros y son menos las que llegan a tener hasta cinco hectáreas. Los terrenos de la región son principalmente de ladera, en alturas que varían de los 900 a los 2 500 metros sobre el nivel del mar; hay pequeños valles agrícolas donde llegan a encontrarse áreas de riego. El rendimiento promedio se ha calculado en 700 kg/ha. Sierras, cañadas y valles forman un mosaico de climas donde encontramos desde selva baja caducifolia, hasta encinares y pequeñas áreas de pino y encino en las partes más altas, pasando por pastizales y palmares. Caen alrededor de 1 200 milímetros anuales de lluvia.

Ya con la cosecha, se valoró la productividad de la parcela en maíz, frijol y calabaza. Con estos datos, a inicios de cada año nos reunimos para compartir los resultados y planear los trabajos del siguiente ciclo.

La PPE, la experimentación y el seguimiento anual de los resultados comenzaron con 30 familias campesinas de 12 comunidades, animadas a ser “experimentadoras”, con el objetivo de transitar hacia una agricultura orgánica. Con un sistema de monitoreo sencillo nos esforzamos por ilustrar los resultados de los primeros cinco años y analizarlos con los experimentadores, sin olvidar que el mundo campesino es mucho más complejo. En todas las parcelas se habían recuperado o incorporado prácticas ecológicas en diferentes temas de manejo (tipo de semillas, agrodiversidad, rotación de cultivos, fertilización, control de plagas, conservación de suelo y agua).

Se compartieron diferentes casos: parcelas que elevaron notoriamente sus rendimientos (de 1,152 a 3,519 kg/ha, en el caso de Don Florentino García de Topiltepec) y que dejaron totalmente el uso de insumos agroquímicos; parcelas que ya no daban prácticamente nada y fueron recuperando su fertilidad y rendimiento (de 200 a 1,000 kg/ha, en el caso de Doña Vicenta Salazar de La Providencia); y parcelas donde se fueron combinando prácticas agroecológicas y uso de insumos agroquímicos, en función de la estrategia familiar, también con buenos resultados (Marielle, 2008). Este proceso de evaluación permitió generar una confianza colectiva.

Cuando la familia campesina analiza la aportación agroecológica de cada técnica a su parcela, así como sus posibilidades o limitantes para realizarla, y comienza a valorar su viabilidad, entonces inicia el diálogo, se cuestiona la conveniencia de continuar o buscar opciones más cercanas a su realidad. Esto permitió identificar las técnicas más sencillas, baratas y efectivas, las que mejor se adaptaron a los tiempos campesinos y a los materiales locales; y, sobre todo, voltear la mirada a las experiencias y conocimientos de cada comunidad.

Las prácticas orientadas a recuperar la vida y la fertilidad de la parcela han sido las más aceptadas, en buena parte porque responden a uno de los mayores problemas: el agotamiento del suelo y la dificultad para obtener fertilizante, además de la preocupación por los daños que causan los agroquímicos al ambiente y a la salud. Cada experimentador fue adaptando los abonos orgánicos a los materiales, cantidades y formas de aplicación en función de su experiencia y sus posibilidades. En poco tiempo prosperaron conocimientos sobre su eficacia en los diferentes

tipos de suelo y cultivos de la región y se desarrollaron procesos organizativos en torno a las aboneras, en varias comunidades se formaron colectivos para su elaboración con el principio de la mano vuelta.⁹

Los talleres a nivel regional y comunitario permitieron, entre 2002 y 2007, involucrar a un centenar de familias de 22 comunidades. Las parcelas experimentales y sus resultados fueron despertando el interés de más personas por acercarse a los experimentadores, y eso comenzó a generar espacios propios de intercambio en las comunidades. Los encuentros intercomunitarios favorecieron el intercambio y los lazos regionales.

La reivindicación de la gran variedad de semillas nativas o criollas, aptas para diferentes suelos, climas, temporales, sistemas de cultivo, gustos y sabores, ha sido uno de los ejes. La identificación de *Zea parviglumis* en comunidades del municipio de Chilapa, conocido localmente como acintle, enriqueció la reflexión colectiva sobre los orígenes de la agricultura y sobre la importancia de la defensa de los maíces nativos frente a amenazas como la contaminación transgénica ya presente en milpas campesinas de otras regiones del país (Quist y Chapela, 2001 y estudios de la Red en Defensa del Maíz en Villa *et al.*, 2012).

La clasificación campesina de 16 variedades de maíz, 13 de frijol y cinco de calabaza, además de decenas de verduras nativas y quelites, y la identificación de las diferentes razas y variedades con el apoyo del doctor Rafael Ortega Paczka (Marielle *et al.*, 2012), también motivaron a muchos compañeros y compañeras a sentirse orgullosos de producir sus propios alimentos, mantener esta riqueza y recuperar una alimentación diversa.

En esos años, varios experimentadores dijeron que no era suficiente el trabajo en cada parcela; que tocaba animar a otros compañeros de sus pueblos a entrarle a la recuperación de la tierra y el cuidado de las semillas criollas. Así nacieron los animadores agroecológicos.

Los planes comunitarios de microcuena

Como ya se mencionó, desde 1994 el Programa Macarena venía colaborando con comunidades de la región para mejorar el aprovechamiento y cuidado de la palma soyate (*Brahea dulcis*), el maguey papalote (*Agave*

⁹ La mano vuelta o cambio de brazo consiste en que amigos o conocidos se ponen de acuerdo para juntos llevar a cabo trabajos de cada quien, por lo general pesados.

cupreata) y los montes. Conforme se profundizó en el diálogo, el agua fue apareciendo como el elemento articulador para mirar el territorio y los recursos naturales en su conjunto. Así nació el proyecto Agua Compartida Para Todos,¹⁰ diseñado con todas las comunidades participantes, y comenzó un intenso proceso de formación de promotores campesinos en el manejo comunitario del agua para apoyar a las autoridades agrarias y los comités del agua de varios pueblos en la realización de su planeación comunitaria de microcuencas,¹¹ siempre buscando el diálogo y el acuerdo de la asamblea.

La microcuenca como unidad de planeación y el agua como recurso eje han permitido integrar los diferentes espacios y subsistemas campesinos (monte, parcelas agrícolas, áreas de pastoreo, barrancas, cauces y manantiales, casas, patios y solares y espacios públicos como las escuelas), desde sus aspectos geohidrológicos, bióticos, para así unir los espacios naturales con los sociales: las microcuencas y el territorio comunitario (Illsley, 2012).

En los procesos de planeación campesina de microcuencas y en las asambleas comunitarias se fueron analizando el conjunto de propuestas técnicas probadas a lo largo de varios años, en este caso la agroecología en parcelas. Esto permitió acercar a los animadores agroecológicos con las autoridades y los comités de agua y enriquecer los planes de trabajo.

En esta segunda etapa avanzamos para integrar más los esfuerzos de todos, reflexionando con las comunidades sobre el papel de las parcelas en las microcuencas. Viendo por ejemplo que la calidad del agua de los manantiales depende de la salud de muchas parcelas, y que los fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos contaminan tierras y aguas, cada vez más familias han retomado propuestas como los abonos y los insecticidas naturales, procurando así cuidar el agua, los alimentos y la salud de toda la comunidad.

¹⁰ El proyecto Agua Compartida Para Todos, coordinado por Catarina Illsley, cuenta con el apoyo de la Fundación Gonzalo Rfo Arronte, IAP. Recibió el Premio Estatal al Mérito Ecológico 2007 y el Premio Latinoamericano y del Caribe del Agua, otorgado por CATHALAC en Panamá, donde Oxtoyahualco fue finalista en la Categoría Comunidad 2007.

¹¹ La planeación comunitaria de microcuencas, así como las obras de conservación de suelo y agua y otros aspectos del quehacer de Macarena, se explican en el libro *Agua compartida para todos. Una propuesta metodológica para el manejo comunitario del agua*, coordinado por Catarina Illsley y publicado por GEA en 2008.

Se comenzaron a impulsar, junto con obras de conservación de suelo y agua, talleres comunitarios de alimentación de la tierra, cuidado de suelo y agua en la parcela, salud de la parcela y control natural de plagas, selección y cuidado de semillas nativas. Muchos animadores agroecológicos, sin ser una figura formal, fortalecieron su compromiso y sus estrategias de animación.

Actualmente 17 comunidades de la región¹² impulsan planes de manejo campesino de microcuencas, de manejo de especies forestales no maderables (maguey papalote) y cuidado de los montes, de animación agroecológica y tecnologías apropiadas, entre otros trabajos. Se han establecido 67 parcelas experimentales, más de 800 personas se han formado en diferentes aspectos de la agroecología, 412 han recuperado o incorporado prácticas sustentables en más de 300 hectáreas, y las comunidades cuentan con 62 animadores agroecológicos. Más de 200 mujeres y sus familias impulsan la sustentabilidad y la autogestión en el manejo de la energía, el agua y la producción de alimentos desde la casa, el patio y el solar; se han formado 54 animadoras que participan de manera destacada en sus comunidades.

Desde el proyecto Agua Compartida Para Todos, con más de 2,000 pequeñas obras comunitarias, se han reactivado manantiales, restaurado suelos, revertido procesos de erosión, construido presas, terrazas y abrevaderos, mejorando la calidad y la cantidad de agua disponible. En 25 escuelas se han impulsado planes de trabajo para tener agua limpia, instalaciones sanitarias dignas y ecológicas, y procesos educativos sobre alimentación y salud basados en la vida campesina. Con la participación de autoridades, padres de familia, maestros, niños, niñas y jóvenes, las escuelas se vuelven una caja de resonancia hacia la comunidad. Por ejemplo, se han levantado 11 huertos escolares para producción de hortalizas.

La agricultura comunitaria y los guardianes

La experiencia técnica acumulada a lo largo de estos años nos permite caminar hacia la comunidad con propuestas concretas. Ver cómo par-

¹² Ahuihuiyuco, Tepozcuautila, Tenexatlajco, El Peral, El Jagüey, Atenoxola y Santa Cruz, del municipio de Chilapa; Topiltepec, de Zitlala; Mazapa, Acateyahualco, La Yerbabuena, Anexo Mazapa, Totolzintla, Tlalcomulco, Trapiche Viejo, Xocoyolzintla y Oxtoyahualco, del municipio de Ahuacuotzingo.

celas muy degradadas han vuelto a dar buenas cosechas ha animado y ha ayudado a recobrar la confianza en la agricultura propia.

Hemos aprendido mucho acerca del carácter comunitario de la agricultura y dimensionado muchos saberes y prácticas que sobreviven junto con el amor a la tierra, a la comunidad y a la cultura. Encontramos formas para recuperar y mantener la vida de los suelos de manera sencilla y barata, que favorecen que los microorganismos benéficos se repongan y vuelvan a ayudar a los cultivos.

Buscando en la memoria, la gente recordaba muchas formas de trabajar la tierra de los abuelos, pero buscando en la comunidad, en los sabedores, en los campesinos de experiencia, vimos que estas ideas y prácticas siguen vivas, se recrean, se actualizan y que cada familia genera innovaciones constantemente, que sus modos de planear consideran las fuerzas y los recursos, los gustos por los sabores y colores de las cosechas y las necesidades específicas.

Existen múltiples prácticas y saberes para alimentar la tierra, algunos llevan a sus parcelas el abono de vacas, bueyes, chivos o caballos que se junta en los corrales y los patios, incluso caca de murciélago o majada de hormiga, lama de monte o de la barranca, o los restos de soya, de hojas de maíz y de todo tipo de materia orgánica; otros incorporan jihuities, pajón y rastrojo (los abonos verdes de la región); con el bramadero¹³ algunos aprovechan de manera muy eficiente el descanso de la parcela; también existen muchos conocimientos sobre la rotación de cultivos y sobre los tipos de asociación particulares en cada clima, tipo de suelo y sistema de producción.

Se encuentran en todas las comunidades experiencias para conservar suelo y agua en las parcelas. La agrodiversidad de las milpas, que muchas familias preservan a pesar de la entrada de los herbicidas, contribuye a mantener la humedad y los equilibrios del suelo, con las mismas lluvias y en el mismo espacio se producen gran variedad de alimentos; la agricultura de tlacolol¹⁴ implica conocimientos acumulados

¹³ El bramadero consiste en amarrar los animales a estacas que se cambian de lugar, por lo general cada semana, en las partes más empobrecidas de la tierra de labor.

¹⁴ El tlacolol es una antigua forma de practicar la agricultura de montaña, pertenece a los sistemas de roza, tumba y quema. En la región se resguardan saberes para el manejo del agua y el suelo, así como una gran variedad de semillas apropiadas a sus condiciones específicas. Posibilitan la producción de alimentos en laderas con mucha pendiente, a veces pedregosas, donde otras tecnologías fracasarían. La conservación del suelo, el agua y la biodiversidad es fundamental para mantener o recuperar la sustentabilidad de su manejo impactada por múltiples factores.

durante muchos años para manejar el agua en las parcelas, cuidar la capa fértil del suelo, mantener la humedad y seleccionar semillas especiales; los tecorrales son muros de piedra que ayudan a retener el suelo y su humedad en terrenos con pendientes significativas; el surcado a nivel, desnivel y los cornejales, así como los canales derivadores de corrientes permiten manejar el exceso o la falta de agua.

En parcelas donde se mantiene la diversidad de cultivos, la salud de la tierra y la diversidad de insectos, es más difícil que se presenten plagas o que causen perjuicio. También es común la costumbre de sembrar o tolerar al ruedo de la milpa plantas repelentes y hospederas (Marielle *et al.*, 2012).

Los calendarios agrícolas guardan incontables saberes, los campesinos de experiencia conocen muchas señales sobre los vientos, los calores, los fríos, las lluvias, la luna, y en las pláticas se ayuda la comunidad para tomar decisiones. Diversos conocimientos se toman en cuenta para decidir sobre las siembras y las cosechas, el corte de la leña y la madera, la cría de los animales. El momento de la siembra es una de las decisiones más importantes de las familias. Las que conservan diferentes tipos de semillas y parcelas con distintas condiciones agroecológicas tienen mayor seguridad de cosecha aunque el temporal venga malo.

Los rituales y las fiestas agrícolas, como la petición de lluvias para el buen temporal, la xilocruz para agradecer los primeros elotes, San Miguel para espantar al mayantle, que es la pobreza y la necesidad del pueblo, o el huentele u ofrenda para agradecer a la Madre Tierra por la cosecha, muestran el vigor de la agricultura campesina-indígena y de la comunidad.

Ahora vemos más claro que en las memorias, prácticas y experiencias, tradicionales e innovadoras, que viven en cada comunidad, está el punto de partida para solucionar muchos de los problemas de la producción y la alimentación en la región. Esta mirada nos ha llevado a la búsqueda de los sabedores de los pueblos, a quienes llamamos *los guardianes*.

Nuestro compromiso es asesorar a las autoridades, comités y animadores agroecológicos y a toda la comunidad en la búsqueda de información técnica y científica que fortalezca la toma de decisiones. Pero también vemos el reto de acompañar en la construcción de formas de trabajo que favorezcan la recuperación de la memoria y que animen la recreación de los saberes locales, que refuercen la autonomía y la autosuficiencia, que profundicen el diálogo.

Tlalli: Agroecología Comunitaria

La etapa actual del trabajo agroecológico se ha construido en diálogo con las autoridades, los animadores y los comités de agua. El propósito es fortalecer la agricultura campesina indígena y la defensa de las semillas criollas, la milpa y todos los espacios que proveen alimentos dentro del territorio, a fin de avanzar hacia la autonomía alimentaria de las comunidades.¹⁵

En asambleas, talleres, recorridos o festivales se enriquece la planeación familiar y comunitaria del ciclo agrícola. También en conjunto se evalúan los resultados de las prácticas, se acuerdan las formas y los tiempos del acompañamiento técnico y de la animación comunitaria, se diseñan investigaciones y experimentación sobre los temas que preocupan. De manera particular se informa y se reflexiona sobre nuevas amenazas como los transgénicos y la importancia de la defensa territorial de los maíces nativos o criollos.

Se han multiplicado los espacios de intercambio impulsados por promotores, animadores, comités y autoridades. En especial el diálogo para rescatar, generar, analizar, valorar y resguardar conocimientos, buenas prácticas e innovaciones campesinas. Con propuestas educativas se propicia el encuentro entre los más pequeños, los jóvenes, los más grandes y los abuelos.

Algunas reflexiones finales

En este camino se entrelazan constantemente lenguajes y mundos diferentes. Uno es el mundo campesino, basado en la práctica, la experiencia de la realidad y la palabra dicha; experto en las condiciones locales y la sobrevivencia. Otro es el mundo técnico, el de las teorías, el experimental, el de la palabra escrita, el de los especialistas y las referencias externas (Vargas y Piñeyro, 2005).

Los saberes locales pueden ser fortalecidos con ideas, reflexión e investigación que ayuden a comprender y enfrentar con eficacia situaciones que rebasan el ámbito de control comunitario e impactan en sus

¹⁵ La autonomía alimentaria tiene que ver con el derecho de los pueblos a decidir qué sembrar, cosechar y comer, y con tener control sobre los alimentos que entran y salen del territorio. La autonomía alimentaria de las comunidades y regiones enriquece, fundamenta y comparte sus principios con una soberanía alimentaria como país.

capacidades de resiliencia, adaptabilidad y autonomía. Sin embargo, para comprender problemáticas complejas se requiere tiempo, profesionalismo y saberes técnicos especializados que permitan entablar diálogos de saberes fructíferos.

El reto es lograr formas de asesoría respetuosa. Es importante aportar conocimientos profesionales y lograr una perspectiva multidisciplinaria, así como conocer sus propias limitaciones. Es imprescindible saber escuchar y respetar a las personas que viven en el campo, y sus formas de pensar y organizarse.

No pasamos por alto que la sociedad dominante ha menospreciado la riqueza de saberes y estrategias de los pueblos campesinos e indígenas, y que las políticas neoliberales han llevado a desarticularlos, a romper sus tejidos sociales para implantar su lógica: la del dinero.

Hemos podido ver cómo los modos extensionistas y la llegada de “soluciones” conducen a la gente a involucrarse en proyectos que transforman sus formas de vida, a veces amarrándola a la dependencia, o imponiendo nuevos significados y relaciones dentro del territorio. Los criterios mercantiles como rendimiento y rentabilidad, en sistemas socioambientales basados en la diversificación y la autosuficiencia, deben ser analizados con detenimiento.

En la región por ejemplo,¹⁶ siguen llegando paquetes tecnológicos (semillas híbridas, fertilizantes, herbicidas e insecticidas químicos) a través de programas de gobierno y las empresas; se han instalado invernaderos de jitomate con su paquete agroquímico,¹⁷ generando en ambos casos dependencia técnica, monetaria y de insumos externos, además usados con criterios clientelares o partidistas que pasan por encima de la institucionalidad comunitaria. De manera preocupante están llegando proyectos privados de plantaciones de higuierilla para biocombustible, ofreciendo dinero por hectárea reconvertida, que se

¹⁶ La región de Chilapa no cuenta con grandes recursos estratégicos, ni es considerada prioritaria para la conservación; no han llegado compañías mineras con concesiones para explotación como ha ocurrido en comunidades cercanas de la montaña y la costa. Es más bien considerada una región de reproducción de mano de obra que la producción comercial consume en otros lugares por tiempo parcial.

¹⁷ Por un lado, se acelera el deterioro de las bases productivas para obtener beneficios de corto plazo para un grupo de campesinos dentro de la comunidad, cumpliendo metas institucionales que no prevén los riesgos del mercado, ni la disponibilidad de agua; por otro lado, puede implicar situaciones de mayor vulnerabilidad para familias que tienen que invertir dinero y energía en una actividad en la que si un año les va mal tendrán problemas para alimentarse.

entrega principalmente en insumos agroquímicos, semillas y alambre para cercar, y prometiendo precio y compra de la cosecha, ¿y la producción de alimentos básicos?, ¿y el cuidado del suelo para alimentar a la población y a las futuras generaciones?

Mientras tanto, numerosas experiencias agroecológicas han mostrado no sólo sus posibilidades y alcances para sostener la vida en las comunidades, sino también para revivir los mercados regionales e incluso construir nuevas formas de economía solidaria. Estudios importantes han registrado cómo las prácticas, estrategias y conocimientos campesinos e indígenas y las técnicas adaptadas que han incorporado, permiten enfrentar y dar salidas a fenómenos como el cambio en los patrones de la lluvia, los vientos y el calentamiento global.¹⁸

La pequeña experiencia aquí relatada muestra cómo a partir del reconocimiento de las instituciones locales se pueden construir proyectos de desarrollo a nivel regional, elaborados, aplicados y vigilados por las comunidades, desde sus necesidades, prioridades y anhelos. Las comunidades organizadas pueden recuperar sus espacios y sistemas de producción de alimentos, manantiales y cauces de agua, montes y biodiversidad. Resguardar y revitalizar año con año las semillas campesinas, patrimonio de los pueblos al servicio de la humanidad.

Finalmente, pensar en diferentes escalas nos lleva a problemas más complejos, reconstruir la soberanía alimentaria del país implica repensar el sistema socioeconómico. ¿Cómo garantizar el derecho a la alimentación en el campo y la ciudad? ¿Cómo avanzar hacia sistemas alimentarios sustentables? Nosotros seguiremos trabajando desde donde nos toca: comprometidos con la sociedad, los pueblos y la Madre Tierra.

Biotechnología agrícola no transgénica, bioinformática y aprovechamiento de la agrobiodiversidad: *loci* de caracteres cuantitativos

La biotecnología contemporánea, en combinación con los métodos bioinformáticos computacionales, ofrece opciones prometedoras de

¹⁸ El Proyecto Andino de Tecnologías Campesinas, en su inspiradora trayectoria, ha visibilizado la importancia del saber andino en prácticas adaptativas sobre el cambio climático (Pratec, 2011). El estudio “*Midiendo la resistencia agroecológica campesina ante el huracán Mitch en Centroamérica*”, con una importante investigación de campo en Guatemala, Honduras y Nicaragua, permitió identificar tendencias claras en la resistencia agroecológica ante estos fenómenos meteorológicos (Holt-Giménez, 2002).

apoyo para el mejoramiento de las razas nativas de maíz, en la caracterización o identificación de variantes nativas, en la generación de nuevas variedades, y también en la generación de nuevas tecnologías para coadyuvar en prácticas de producción de maíz de manera sustentable y especializada. Sin pretender una revisión exhaustiva de estas posibilidades, en este apartado sintetizamos el potencial de algunas de las más favorecidas en los últimos años. Estas tecnologías no implican la liberación en el ambiente de transgénicos, ni tampoco la transgénesis de las plantas comestibles, por lo que constituyen opciones mucho menos riesgosas que las que están ofertando las compañías biotecnológicas más grandes (Monsanto, Pioneer, Agro Dow, Syngenta y Bayer, entre las más importantes). Como ha quedado claro en los capítulos anteriores, dichas tecnologías implican riesgos, incertidumbres y posibles peligros más preocupantes y, en algunos casos, irreversibles, sobre todo cuando se trata de la liberación en el ambiente de especies en su centro de origen y/o diversificación o la transformación genética de plantas alimenticias.

El enfoque más prometedor de mejoramiento no transgénico implica el uso de la diversidad genética presente en las variedades nativas. La agrobiodiversidad es un recurso que puede explotarse de manera sustentable para enriquecer la base genética de las plantas cultivadas. En las variedades nativas de maíz de México, por ejemplo, existen innumerables alelos aún no caracterizados que podrían mejorar la productividad del grano y la respuesta del maíz a retos ambientales tanto abióticos, como bióticos.

En maíz se ha demostrado la posibilidad de encontrar y caracterizar variabilidad genética que confiere resistencia al ataque de gorgojos y picudos (*Sitophilus zeamais*) (Serratos *et al.*, 2003). La diversidad genética de las miles de variedades de maíz nativas de nuestro país así como la que está presente en las poblaciones silvestres de teocintle tiene un potencial enorme para el mejoramiento de las mismas variedades nativas que ya están bastante bien adaptadas a las condiciones en las cuales crecen.

En otros cultivares como el jitomate (*Solanum lycopersicum*) también se ha explorado el potencial de la diversidad genética natural. Por ejemplo, se han evaluado genotipos que contienen una pirámide de tres *loci* independientes promotoras del rendimiento en *Solanum pennellii*, una especie silvestre del mismo género que es tolerante a la sequía y tiene frutos verdes. Los híbridos obtenidos presentaron incrementos en su rendimiento de más de 50% con respecto de las variedades de jitomate

que fueron usadas y que son las preferidas en el mercado. Estos resultados se mantuvieron tanto en condiciones de campo con sequía, como en campos irrigados (Gur y Zamir, 2004). Existen muchos más ejemplos de diferentes cultivos que también muestran el potencial de este tipo de enfoque, el cual puede impulsarse sin la necesidad de los transgénicos para romper barreras en los rendimientos. Cabe mencionar que en contraste con estas tecnologías prometedoras, el uso de maíz transgénico no ha dado el aumento en el rendimiento esperado.

Esta forma de mejoramiento, asistido por marcadores moleculares y herramientas bioinformáticas de *loci* que subyacen a la variación de caracteres cuantitativos como el rendimiento, se puede combinar con algunos enfoques novedosos de modificación genética que no implican los riesgos e incertidumbres de los métodos usados hasta ahora para la transformación genética. Algunas de las modalidades de estos nuevos enfoques tampoco implican el uso de secuencias exógenas, permitiendo así controlar el sitio de modificación de genes endógenos o la inserción de las variantes alélicas de otras variedades de la misma especie a introducir (Shukla *et al.*, 2009), pero por otra parte no podemos descartar que su liberación en el ambiente en centros de origen y diversificación, en donde será imposible evitar el flujo génico hacia variedades locales, aún podría implicar riesgos importantes. Éste será el caso, sobre todo, si son desarrollos privados y patentados. Sin embargo, lo que resulta claro ante estas nuevas propuestas tecnológicas es que todos los transgénicos que actualmente se ofertan en el mercado son obsoletos, pues ya han probado sus insuficiencias y riesgos y, por lo tanto, no debería experimentarse con ellos y, mucho menos, ser liberados en el ambiente en centros de origen y diversificación.

Conclusiones

El problema con el enfoque de la biotecnología agrícola contemporánea es que no ha tomado en cuenta las enormes variaciones en la ecología, las presiones de la población, las relaciones económicas y las organizaciones sociales que existen en cada una de las regiones en donde se pretende aplicar. Esto es cierto para el caso de la biotecnología desarrollada para el maíz y las características, necesidades y potencialidades del campo mexicano. Este desajuste se ha caracterizado por tres aspectos: los paquetes biotecnológicos homogéneos no son adaptables a la heterogeneidad

campesina y sólo funcionan en condiciones similares a las de los países industriales y de las estaciones experimentales; el cambio tecnológico benefició principalmente la producción de bienes agrícolas de exportación, comerciales e industriales, producidos prioritariamente en el sector de grandes predios, impactando marginalmente la productividad de los productos alimenticios, que son cultivados en gran medida por el sector campesino. Así, América Latina se ha convertido en un importador neto de insumos químicos y maquinaria agrícola, aumentando los gastos de los gobiernos y agravando la dependencia tecnológica (Altieri y Nicholls, 2000). Estos hechos se cumplen en el caso de las tecnologías de la Revolución verde, así como en el de las nuevas tecnologías derivadas del ADN recombinante, como los transgénicos.

En México existen alternativas tecnológicas no transgénicas que podrían usarse para asegurar una producción excedentaria de maíz de alta calidad de manera sustentable. Pero sobre todo, en México hay alternativas agroecológicas de policultivo, como la milpa, que han probado sus bondades en términos de sustentabilidad y suficiencia en la producción de una diversidad de alimentos sanos y seguros para proveer a los campesinos de una dieta balanceada. Estas tecnologías tradicionales se han incentivado en algunas regiones (casos acompañados por GEA, como ejemplo) o mantenido de manera exitosa. Pero también existen métodos de mejoramiento por técnicas clásicas, tanto de variedades nativas como de híbridos mejorados, que han probado su potencial. Entre ellas, algunas de las tecnologías derivadas de las desarrolladas por la misma Revolución Verde, que si bien deben adecuarse y regularse para no causar deterioro ambiental, podrían también aplicarse para aumentar significativamente los rendimientos de maíz y llegar a niveles excedentarios, sobre todo en las áreas de agricultura más extensiva. Todas estas tecnologías, junto con la creación de bancos de germoplasma locales, podrían apoyarse en nuevas herramientas biotecnológicas que prescinden del uso de plantas transgénicas para su liberación al ambiente, y no implican los riesgos inherentes a estas últimas; además, podrían combinarse con el uso de tecnologías tradicionales que aseguren una producción especializada y sustentable de cultivos diversos, seguros y de alta calidad.

Las propuestas presentadas en este capítulo son coherentes con las hechas por diversos científicos en el sentido de que es la producción familiar a pequeña escala la que puede garantizar un abasto suficiente de alimentos seguros, a la par que se asegura la conservación de la bio-

diversidad (IAASTAD, 2009). En un estudio reciente se documenta que la producción de alimentos en pequeña escala por unidades familiares puede ser mayor o equiparable a la lograda por la agricultura industrial extensiva, pero en el primer caso se conserva y promueve la biodiversidad (tanto natural como cultivada), mientras que en la segunda se destruye y se producen efectos nocivos en el ambiente. Sólo una agricultura a pequeña escala puede permitir la conservación y conexión de los parches de vegetación natural que quedan sin destruir en las zonas más biodiversas del mundo. Tal es el caso de los biomas de México, en donde aún se intercala agricultura familiar con vegetación natural, y se ha visto que la consolidación de los campos de cultivo en vastas extensiones de siembra con gran cantidad de insumos industriales no coadyuvará a la conservación de la biodiversidad, sino todo lo contrario. Ante ello, los autores reportan que el modelo a seguir es uno de matriz, que permite la interconexión de los parches de vegetación natural y, por lo tanto, su conservación a largo plazo, así como una producción sustentable y suficiente en campos de cultivo intercalados que necesitan de pocos o nulos insumos industriales. La “matriz agroecológica” es el área abierta a la producción de alimentos en la cual están los parches de vegetación natural interconectados. La agricultura tradicional que se basa principalmente en prácticas agroecológicas (uso de fertilizantes orgánicos en vez de químicos, control de plagas biológico en vez de pesticidas, selección de variedades resistentes, y agroforestería que combina cultivos, árboles frutales y de sombra o nativos), como las propuestas en las experiencias de GEA, proveen una matriz que permite el movimiento de propágulos de plantas y de animales entre parches de vegetación natural. Además, estos sistemas agroforestales permiten una explotación sustentable de las especies de los parches de vegetación natural (Perfecto y Vandermeer, 2010).

Este patrón que aún se practica en varias regiones del país desde la época prehispánica bajo el sistema de roza, tumba y quema, permite la recuperación de la vegetación natural. Bajo dicho sistema tradicional es posible soportar grandes densidades de pobladores, a la vez que se conserva el bosque natural y su biodiversidad (Hernández Xolocotzi, 1959).

El desarrollo agrícola implica inevitablemente un cierto grado de transformación física de los paisajes y de artificialización de los ecosistemas, sin embargo, es esencial concebir estrategias que enfatizen métodos y procedimientos para lograr un desarrollo sustentable. El

enfoque agroecológico del que se habló en este capítulo puede servir como paradigma directivo, ya que define, clasifica y estudia los sistemas agrícolas desde una perspectiva ecológica y socioeconómica. Este enfoque minimiza los efectos ambientales nocivos de la agricultura (por ejemplo, la emisión de gases de efecto invernadero como el CO_2) y usa los recursos abióticos y bióticos de una manera mucho más eficiente. Además de proponer un método para diagnosticar la salud de los sistemas agrícolas, la agroecología define los principios ecológicos necesarios para desarrollar sistemas de producción sustentables en marcos socioeconómicos específicos (Altieri y Nicholls, 2000).

Esta propuesta también coincide con las conclusiones del reporte *International Assessment of Agricultural Knowledge, Science and Technology for Development* (IAASTD, 2009), en donde se concluye que la agricultura sustentable agroecológica de pequeña escala (familiar) es la mejor manera y la más amigable con el ambiente para aliviar el hambre en el mundo, al mismo tiempo que se promueve un desarrollo sustentable (McIntyre, 2009). Los estudios de la Dra. Elinor Ostrom, recién galardonada con el premio Nobel de Economía, apoyan también esta propuesta, y la importancia de proteger lo colectivo, así como apoyar las iniciativas locales comunitarias y tradicionales para el manejo sustentable de los recursos naturales. Ésta es la única vía (en contraste con las privadas y gubernamentales) que ha probado ser eficaz para generar sistemas productivos que permiten la conservación de la naturaleza a largo plazo (Gibson y McKean, 2000; Costanza y Wilson, 2001; Burger *et al.*, 2001). Este hecho ha quedado también documentado en el estudio de Boege (2008), para el caso de México.

Bibliografía

- Aguilar, J., T. Gómez y C. Illsley. (2002). *Normas comunitarias campesinas e indígenas para el uso y acceso de los recursos naturales*. México, GEA.
- Altieri, M.A y Nicholls. (2000). *Agroecología. Teoría y práctica para una agricultura sustentable en Red de Formación Ambiental para América Latina y el Caribe*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México D.F.
- Anónimo. (1999). El maíz en México: algunas implicaciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte. En Comisión para la Cooperación Ambiental (edits.). *Evaluación de los efectos am-*

- bientales del Tratado de Libre comercio de América del Norte*. Comisión para la Cooperación Ambiental. Montreal, 66-182.
- Aveldaño Salazar R. y 55 colaboradores. (1992). *El Programa Nacional de Maíz de Alta Tecnología*. En Documento de circulación interna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México, D.F.
- Ávila-B., C. H. (2010). *La agricultura tradicional y la conservación de los recursos naturales en México en Este País*, 226, 46-50.
- Boege, E., (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México*. Instituto Nacional de Antropología e Historia Nacional y Comisión Nacional para el Desarrollo de los Pueblos Indígenas.
- Burger Joanna, Norgaard Richard B., Policansky David, y Goldstein Bernard D. (2001). *Protecting the Commons: A Framework for Resource Management in the Americas*. Island Press, Washington, D.C.
- Bye R. y Linares E. (1983). The role of plants found in the Mexican markets and their importance. In *Ethnobotanical studies en Journal of Ethnobiology* 3, 1-13. 54.
- Castillo González F., Martínez Zambrano, Domingo Molina y Muñoz Orozco. (1999). Cambios morfológicos y tolerancia a sequía en maíz mediante selección masal para rendimiento en condiciones de sequía. En *Revista Fitotecnia Mexicana* 01.
- Costanza Robert, Low Bobbi, y Wilson James. (2001). *Institutions, Ecosystems, and Sustainability*. Boca Raton: Lewis Publishers.
- Díaz León, M. y A. Cruz León (comp.), (1998). *Nueve mil años de agricultura en México. Homenaje al Dr. Efraín Hernández Xolocotzi*. México: GEA y Universidad Autónoma Chapingo.
- Díaz, L., C. Illsley y C. Marielle (2008). *Integral peasant land-use planning: A method for strengthening local institutions for community-based management of natural resources*. 12th Bienal Conference of the International Association for the Study of Commons (IASC). England: University of Gloucestershire.
- Emerson R. A., (1953). A Preliminary Survey of the Milpa System of Maize Culture as Practiced by the Maya Indians of the Northern Part of the Yucatan Peninsula. In *Annals of the Missouri Botanical Garden*, 40(1), 51-62
- Esteva, G. y C. Marielle (coords). (2003). *Sin maíz no hay país*. México: Dirección General de Culturas Populares e Indígenas del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.

- Farris Nancy. (1984). *Maya Society Under Colonial Rule*. New Jersey, E.U.A.: Princeton University Press.
- García Bernal. (1976). La sociedad de Yucatán, 1700-1750. En *Escuela de Estudios Hispanoamericanos*, Sevilla, España.
- García-Lara S., Serratos J.A., Burr A.J, Díaz-Pontones D.M, Arnason J, Bergvinson DJ. (2003) Defensas naturales en el grano de maíz al ataque de *Sitophilus zeamais* (Motsch. Coleoptera: Curculionidae): Mecanismos y bases de resistencia. *Revista de Educación Bioquímica* 22(3), 138-145.
- Gibson Clark y McKean Margaret A., (2000). *People and Forests: Communities, Institutions, and Governance*. Cambridge, MIT Press.
- Gur A. y Zamir D. (2004). *Unused Natural Variation Can Lift Yield Barriers in Plant Breeding*. En *PLoS Biol* 2(10):1610-1615. [Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC514488/>].
- Hernández Xolocotzi, E. (1959). La agricultura en la Península de Yucatán. En: Beltrán, E. (ed.) *Los recursos naturales del Sureste y su aprovechamiento*. México, D.F.: Publ. IMRNR, Vol. 2, 3-57
- Holt-Giménez, E., (2002). *Measuring farmers agroecological resistance after Hurricane Mitch in Nicaragua: a case study in participatory, sustainable land management impact monitoring*. University of California-Elsevier Science.
- IAASTAD. (2009). *Evaluación Internacional del Conocimiento, Ciencia y Tecnología en el Desarrollo Agrícola. Seguridad alimentaria en un mundo inestable*. Panfleto en Síntesis temática. Island Press.
- Illsley, C. (coord.), (2008). *Agua compartida para todos. Una propuesta metodológica para el manejo comunitario del agua*. México: GEA.
- Illsley, C., (2012). *Enfoque y estructura del proyecto Agua Compartida Para Todos*. México: GEA [Inédito].
- Lazos Chavero, E. (1992). La invención de los transgénicos: ¿nuevas relaciones entre sociedad y cultura?. En *Nueva Antropología*, 21(68), 9-35
- Limón Olvera, (2000). La sacralidad en la agricultura: Ritos en México, ayer y hoy. En *Scripta Ethológica*. Vol. XXII, 99-112
- Lundell, Cyrus C. (1933). "The Agriculture of the Maya". In *Southwest Review* 19, 65-77
- Marielle, C. (coord.). (2007). *La contaminación transgénica del maíz en México. Luchas civiles en defensa del maíz y de la soberanía alimentaria. Estudio de caso*. México: GEA.

- Marielle, C. (coord.) (2008). *¡SAS! Una experiencia campesina hacia Sistemas Alimentarios Sustentables*. México: GEA.
- Marielle, C., L. Díaz, M. López-Alavez y A. Alarcón (coords.). (2012). *Morral campesino. Hacia una agroecología comunitaria*. México: GEA.
- Martínez F., J. I. (2008). *La agrodiversidad del sistema de producción milpero en Ocotlán Chico, San Pedro Soteapan. Veracruz, México*. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Sistemas de Producción Agropecuaria. Universidad Veracruzana, 77.
- McIntyre Beverly D. (2009). Central and West Asia and North Africa (CWANA) report. En *International assessment of agricultural knowledge, science and technology for development (IAASTD)*. Washington, D.C.: Agriculture at a crossroads Series, Island Press.
- Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. En *Science* 325, 419-422.
- Ostrom, E., (2000). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. México: UNAM-CRIM-FCE.
- Patch Robert, (1978). El mercado urbano y la economía campesina en Yucatán durante el siglo XVIII. En *Revista de la Universidad de Yucatán*, XX:117-118, 83-96.
- Pérez Toro A. (1942). “*La Milpa*”. Gobierno de Yucatán. Mérida Yucatán, México.
- Perfecto y Vandermeer. (2010). Small Family Farms in Tropics Can Feed the Hungry and Preserve Biodiversity. En *Proceedings of the National Academy of Sciences*. [Disponible en: www.physorg.com/news186072369.html]
- PRATEC (2011) *Adaptación al Cambio Climático y Saber Andino*. Lima: PRATEC-Broederlijk Dellen.
- Quist, D. y I. Chapela (2001) Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, 414, 541-543.
- Ramírez V., B.; G. Ramírez V y P. Juárez Sánchez. (2012). *Competitividad del campesino mexicano en la producción de maíz: estudio longitudinal en once municipios al oriente del estado de Puebla*. [Disponible en: <http://agrinet.tamu.edu/trade/papers/compite.pdf>]. Consultado el 20 de abril de 2012.
- Rendón, J.J. (2004). *Taller de diálogo cultural*. México: Universidad de Guadalajara-Universidad Iberoamericana.
- SAGARPA/FILCOS/COLPOS, (2008-2009). *Proyecto para la Producción de Maíz de Invierno en la Región Sur-Sureste de México (2008-2009)*. Informe

- de evaluación de desempeño e indicadores de impacto. [Disponible en: www.firco.gob.mx]
- Schwentesius, R.; M. A. Gómez C. y A. de Ita. (2000). *¿Cuánta liberalización aguanta la agricultura? El impacto del TLCAN en el sector agroalimentario*. México: Cámara de diputados. LVII Legislatura. Comisión de Agricultura. Universidad Autónoma Chapingo. Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano, 348.
- Shukla et al., (2009). Precise genome modification in the crop species *Zea mays* using zinc-finger nucleases. *Nature* 459,437-41.
- SIAP. (2010). *Servicio de información Agroalimentaria y Pesquera*. [Disponible en: www.siap.gob.mx]. Consultada en Diciembre de 2010.
- Steggerda, M., (1942). *Maya Indians of Yucatán*. Publication 531, Carnegie Institute of Washington, D.C.
- Suárez Molina, V. (1977). *La evolución de Yucatán a través del siglo XIX*. Universidad de Yucatán, México.
- Terán, S. y Rasmussen C. (1994). *La Milpa de los Mayas en Ministerio de Relaciones Exteriores de Dinamarca*. Mérida, Yucatán.
- Turrent Fernández A. (1986). *Estimación del potencial productivo actual de maíz y frijol en la República Mexicana*. México: Colegio de Postgraduados, Chapingo, 165.
- Turrent Fernández A., Aveldaño Salazar R. y Moreno Dahme R. (1996). Análisis de las posibilidades técnicas de la autosuficiencia sostenible de maíz en México. *Terra* 14(4), 445-468.
- Turrent Fernández A., Camas Gómez R., López Luna A., Cantú Almaguer M., Ramírez Silva J., Medina Méndez J. y Palafox Caballero A. (2004). Producción de maíz bajo riego en el Sur-Sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agric. Téc. Mex.* 30(2), 205-221.
- Vargas, R. y N. Piñeyro. (2005). *El Hidroscopio*. Montevideo: PNUMA-UNESCO.
- Villa, V., E. Robles, J. Godoy y R. Vera (eds.). (2012). *El maíz no es una cosa: es un centro de origen*. México: Coa-Casifop-Grain-Editorial Itaca.
- Yañez-Arancibia A. y J.W. Day. (2010). La zona costera frente al cambio climático: vulnerabilidad de un sistema biocomplejo e implicaciones en el manejo costero. En E. Rivera-Arriaga, I. Azuz-Adcath, L. Alpuche Gual y G. J. Villalobo-Zapata (eds.). *Cambio climático en México, un enfoque Costero-Marino*. Universidad Autónoma de Campeche cety-Universidad, Gobierno de Estado de Campeche, 944 .



CAPÍTULO 12
AGRICULTURAS CAMPESINAS Y PERCEPCIÓN SOCIAL DEL MAÍZ
TRANSGÉNICO EN EL CAMPO MEXICANO:
UN ESTUDIO DE CASO EN OAXACA



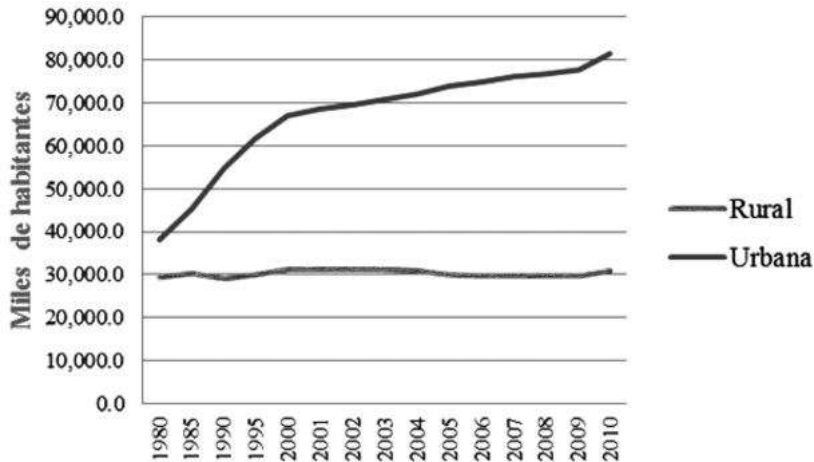
Elena Lazos Chavero y Dulce María Espinosa de la Mora

**Agricultura y productividad campesinas:
estudio de la milpa en Oaxaca**

A pesar de los ajustes estructurales impuestos al campo mexicano, la Agricultura campesina bajo una organización familiar continúa dominando el paisaje rural mexicano. Sigue siendo practicada por millones de familias de origen indígena o mestizo, y aunque haya habido una fuerte reducción de la población rural en términos relativos durante las últimas cuatro décadas por el flujo migratorio tan alto, la población rural sigue oscilando alrededor de los 30 millones de habitantes (27.4% de la población nacional)(INEGI, 2010). En la gráfica 1 se ilustra la evolución que ha tenido la población mexicana desde 1980 a la fecha.

La persistencia del minifundio se constata con el dato de que el 57.9% de las unidades de producción agrícola tiene una superficie igual o menor a las tres hectáreas (INEGI, 2009). De las unidades de producción censadas en 2007, el 72% tiene menos de 5 hectáreas; el 22% entre 5 y 20 hectáreas y solo el 6% posee más de 20 hectáreas (Lazos y Chauvet, 2011). El componente étnico es importante dado que el 26.8% de los titulares de las unidades de producción agropecuarias y forestales son hablantes de lengua indígena. Cerca de 7 de cada 10 productores que hablan lengua indígena se localizan en los estados de Chiapas, Oaxaca, Veracruz, Puebla e Hidalgo (INEGI, 2009:4).

Gráfica 1. México: población rural y urbana



Fuente: INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010

La mayor parte de estas pequeñas parcelas está cultivada con milpas, cuya riqueza agrícola depende de una matriz de factores ecológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración, calidad de los suelos, edad de la vegetación anterior, cantidad de malezas, acceso a semillas, plagas), sociales (acceso a la tierra, estructura y ciclo familiar, edad de los trabajadores, instituciones que favorezcan intercambios laborales, organización familiar, estado de salud), económicos (matriz de precios, importaciones de cultivos básicos, tasas de migración, salarios, cantidad de tierra cultivable), y culturales (cultura material, simbolismo, educación, normas y arreglos familiares, significado en fiestas y ceremonias). Por ello, encontramos una gran heterogeneidad de arreglos tecnológicos y prácticas agrícolas, que van desde monocultivos de maíz hasta milpas de 18 a 20 cultivos intercalados en varios estratos biológicos (herbáceas, arbustos y árboles). Inclusive, las familias solían cultivar varias pequeñas parcelas en distintos nichos microclimáticos (entre 1 a 10 parcelas). Aunque, actualmente, en promedio en Oaxaca encontramos un manejo de parcelas por productor con diversos arreglos topológicos y un juego heterogéneo de cultivos. El objetivo de acceder a distintos pisos ecológicos era reducir riesgos y lograr cosechas en distintos períodos.

Desde hace más de cuatro décadas, múltiples investigaciones en agronomía, biología, antropología, geografía, economía rural, señalaron

que el cultivo de una gran variedad de semillas, las técnicas de siembra y de cosecha, y el manejo de espacios y de los tiempos formaban parte de los “arreglos tecnológicos” de las sociedades campesinas para hacer frente a los múltiples riesgos (Dumont, (1935) 1995; Hernández-Xolocotzi, 1959; Gourou, 1965). En muchas sociedades asiáticas (Orissa en la India, los meuong en Vietnam, los sistemas conocidos como pekarangan en Indonesia) y americanas (la región mesoamericana y la andina), la estrategia para lograr la subsistencia fue desarrollar una alta diversificación de poblaciones de cultivos (Marcus, 1982; Casas *et al.*, 1987; Lazos, 1992; Berkes *et al.*, 1995; Rojas, 1995; Thrupp, 1998; Altieri y Nicholls, 2000; Dary, 2002). Igualmente, los “arreglos sociales” expresados en diversas instituciones sociales, normas, arreglos, reglas de intercambio, acceso a tierras comunales, coadyuvaban al mismo propósito (Davis, 1993; Pichón *et al.*, 1999; Ostrom, 2011).

Estos “arreglos tecnológicos”, sin embargo, demandan una gran cantidad de mano de obra. Siendo que actualmente la edad promedio de los agricultores es de 54 años (Lazos y Chauvet, 2011), ya que muchos jóvenes han migrado, los productores no puedan tener más de tres o cuatro parcelas como solían hacer. No obstante, existen excepciones y seguimos encontrando familias que cultivan hasta siete y ocho parcelas pequeñas distribuidas en las partes altas de las montañas y en los valles con el fin de tener una heterogeneidad microclimática que aumente las posibilidades de una buena cosecha.¹

Las familias tratan de cultivar la superficie suficiente para obtener una cosecha que satisfaga sus necesidades de alimentación anual. Sin embargo, debido a los cambios en la precipitación, las altas tasas de erosión, la baja fertilidad de los suelos y los bajos precios de los productos agrícolas, la mayor parte de las familias campesinas no siempre satisfa-

¹ Todavía existen valiosas experiencias de gran riqueza biológica. Marcial Félix Pérez Sanabria, mixteco de Santiago Nuyoo nos cuenta “Siembro ocho parcelitas, tres en tierra caliente baja y cinco en tierra húmeda (templada). En total, son ocho hectáreas de temporal y una de riego. Yo tengo de dos tipos de maíces, son blanco de 5 meses y el amarillo de 8 meses. Tengo dos tipos de calabazas, la larga y la chilacayota y dos frijoles, el negro y el conejo [...] Tengo un surco de camote blanco. Pero casi todo lo tengo sembrado de café, del criollo, son como ocho mil matas. [...] De la milpa, mi mujer trae chepil, quintoniles, verdolagas y quelites violetas [...] Vamos al monte a buscar hongos de champiñón, los de leche, los unos delgaditos y el que le llaman iyicana” (Marcial Félix Pérez Sanabria, mixteco de Santiago Nuyoo, ocho de familia, tres migrantes (dos en México y uno en EUA). Además, en sus parcelas y en su huerto tiene sembrado aguacate hass, durazno, naranja, piña y plátano esperón (entrevista 20/10/2004).

cen sus requerimientos anuales. En varias regiones de Oaxaca (Lazos, 2008; Lazos 2012), el maíz producido alcanza en promedio únicamente para cuatro meses. Para el resto del año, las familias se ven obligadas a comprar el maíz faltante en DICONSA o en las tiendas regionales, lo cual coloca a las familias en una alta vulnerabilidad. DICONSA pone restricciones (tasas máximas) para la compra de maíz, lo que hace que haya familias numerosas que estén controladas en su consumo, pero además, existen comunidades con un desabasto continuo (por ejemplo, en San Miguel Huautla del Distrito de Nochixtlán, DICONSA no surtió maíz a la comunidad durante tres semanas).

Por otra parte, con el fin de obtener el dinero necesario, las familias se ven obligadas a vender parte de su cosecha. Pero igualmente, en las regiones altamente productoras de maíz, como en la parte baja de la Sierra Mixe, los agricultores destinan una parte pequeña al autoconsumo (en promedio 20%) y el resto hacia la venta. En varias regiones recorridas en Oaxaca y con base en 60 entrevistas realizadas en 2003, según la producción total obtenida, los campesinos venden entre 40% y 80% de la producción (Lazos, 2011). Los factores que determinan la decisión de venta de la producción están enmarcados igualmente en una gran cantidad de variables económicas, sociales, ecológicas y culturales. Lo importante a señalar es que las familias de subsistencia venden una parte importante de su producción (hasta el 49%) para cubrir otras necesidades. Esto debería de tomarse en cuenta en el diseño de las políticas de la comercialización nacional.

Para hacer una evaluación de la productividad de la milpa necesitamos conocer no solamente los rendimientos de maíz y la mano de obra invertida, sino también el número de cultivos asociados obtenidos y sus rendimientos. Algunos especialistas además proponen incluir la cantidad de insumos utilizada y las prácticas de conservación de suelo, agua y biodiversidad (Altieri y Toledo, 2011). El conjunto de estas variables daría, en verdad, la productividad agrícola y ecológica en su conjunto. Sin embargo, cuando se reporta la producción de las milpas cultivadas por familias campesinas, por lo general se cuantifica únicamente la producción de maíz. Esto se debe a la dificultad de medir el resto de los productos y de las variables que se combinan en la agricultura campesina. Por ejemplo, en las regiones de Oaxaca que recorrimos, existen en total hasta 17 variedades de leguminosas en las milpas. Con respecto únicamente a frijoles, encontramos ocho variedades (amarillos, rojos, rosados, negros delgados, negros gruesos,

alaya, frijolón, frijol cuarenteno) en la Sierra Juárez; cuatro variedades (negro, blanco, rojo y cuarenteno) en la región mixe; cinco variedades (amarillo de milpa, amarillo de bejuco, negro, mosquito, Jamapa) en las cañadas de Cuicatlán; diez variedades (enredador, de mata, bayo, blanco, rojo, grande, frijol suave, negro, san juanero, conejo), además de ayocote y haba en La Mixteca (Lazos, 2011). Este ejemplo nos refleja la alta heterogeneidad de milpas en Oaxaca y debido a que los cultivos asociados se siembran en combinaciones distintas en pequeñas superficies, no son contabilizados generalmente en la productividad de la milpa, pero contribuyen de manera importante a la dieta alimentaria de las familias. Si ahora además del cultivo de la milpa, tomamos la recolección, el número de plantas alimenticias es muy alto. Se han reportado hasta 87 especies en Alcozauca, Guerrero y de 71 especies en Yosotato, Oaxaca (Casas *et al.*, 1987).

En la economía agrícola mundial existen curvas de productividad según el sistema agrícola. Como tendencia, la mayor productividad se reporta en campos intensivos tradicionales, con una alta agrobiodiversidad, fuertes inversiones de trabajo pero una escasa inversión de agroquímicos y fertilizantes (Mazoyer y Roudart, 1997). En estos sistemas agrícolas se realiza un manejo múltiple de semillas basado en conocimientos, intereses, necesidades y requerimientos agrícolas, en contraposición a las determinantes ecológicas de sus propias parcelas. Diversos factores entran en juego para seleccionar las semillas de las variedades o poblaciones a cultivar (Tabla 1).

Esta matriz de factores es una pequeña muestra de la cantidad de factores que las familias campesinas indígenas y mestizas toman en cuenta para decidir sobre la variedad de maíz para cultivar en sus tierras. Otras variables han sido descritas finamente en los trabajos de Bellon (1991) y de Soleri y Cleveland (2001). El juego de variables ecológico-agronómicas (vientos, tipos de suelos, duración de sequías, presencia de heladas) interacciona con variables sociales (disponibilidad de mano de obra), económicas (particularmente, los precios en el mercado) y culturales (tipo de producto a manufacturar, dificultad en el desgrane) en la toma de decisiones de la población y raza de maíz a cultivar. La base de esta multiplicidad de factores tiene como eje la reducción de riesgo de perder la cosecha.

Frente a esta complejidad agronómica y socioeconómica, el maíz transgénico pone en riesgo la dinámica del sistema agrario de millones de familias campesinas. El mayor riesgo reside en la pérdida del

Tabla 1. Frecuencia de siembra de las poblaciones de maíces según las características de selección mencionadas por los agricultores

Características	Variedades de maíz										H
	amarillo	Azul/morado	blanco	elotero	naranjaño	negro	Pinto	rojo			
Color	7	9	31	1	3	0	1	5		2	
Peso	10	2	6	1	1	0	0	1		3	
Sabor	7	8	15			12		4		0	
Suavidad	2	5	12	0	1	1		2		0	
Textura	1	3	4	1	1	0	0	3		1	
grosor del olote	8	4	12	0	3	0	0	5		2	
tamaño de la mazorca	5	3	13	1	2	0	0	1		2	
Conservación	11	3	18	0	3	0	0	2		1	
resistencia a plagas	14	3	23	0	4	1	0	0		1	
resistencia a vientos	11	6	7	0	2	1	0	2		2	
tipo de suelos en su parcela	9	7	14	0	3	3	0	5		1	
por topografía	8	5	15	0	1	0	0	4		0	
ser más llenador	10	3	12	0	3	0	0	1		0	
Rendimiento	10	2	12	0	5	0	0	0		1	
preferencia por animales	16	4	23	0	2	1	0	5		3	
uso ritual	10	3	16	0	2	1	0	2		0	
uso de otras partes	6	2	15					4		0	

H = maíces híbridos

Fuente: 44 entrevistas realizadas en la región de las Mixtecas y de la Cañada (julio 2003).

control sobre las semillas de las múltiples poblaciones a cultivar. Si los productores pierden su banco de semillas, la vulnerabilidad y el riesgo aumentan, ya que, por un lado, perderían el control del interjuego de estas variables con el fin de reducir el riesgo de pérdida de cosecha, y por otro lado, serían totalmente dependientes de la tecnología asociada al maíz transgénico. Los consorcios semilleros transnacionales dominarían entonces el mercado nacional de semillas. Esta alta dependencia se manifiesta en una cita de uno de los productores sinaloenses:

Nosotros desde hace tiempo que no somos agricultores, ahora sólo somos simples maquiladores, maquilamos el maíz, así como en una fábrica. Tenemos que hacer lo que viene en el paquete. Ya sólo parece que trabajamos para las empresas. Desde la semilla a Pioneer, luego viene ya todo, fertilizante, agroquímicos en el mismo paquete. La maquinaria viene de allá también, es de la John Deere. La cosecha se la lleva Cargill. Así todo para las empresas, ya no decidimos nosotros [...] Imagínese, ya con los transgénicos, ya no vamos a decidir nada (entrevista con Luis Dablantes, Productor y Presidente de la Federación de Ejidatarios Rurales de Sinaloa, agosto, 2004).

Este escenario sería muy riesgoso para familias campesinas que ni tan siquiera podrían pagar las semillas del “paquete” vendido. Pero aunque lo pudieran pagar, la matriz de condiciones y factores del sistema agrícola se transformaría radicalmente. Esto aumentaría aún más la vulnerabilidad social de las familias campesinas, ya de por sí depauperadas. La mercantilización del germoplasma agrícola provoca que la generación y transferencia de conocimientos sobre los cultivos tenga mayores impactos sociales, ya que su acceso se relaciona con el ejercicio de poder y acciones de dominio. Sin duda alguna, el control del circuito del germoplasma dará el poder absoluto sobre el sistema productivo y comercial a las grandes empresas.

En este sentido, Adelfo Regino, fundador de la asociación campesina Servicio Mixe y líder desde hace varias décadas y actual secretario de la Secretaría de Asuntos Indígenas del estado de Oaxaca recapacita en una asamblea:

Tenemos que diversificar los cultivos para dar seguridad alimentaria. Hay que conservar e incentivar la producción de semilla. Se tiene que procurar más este tipo de diversificación de cultivos. No es un camino fácil porque la gente decide migrar, pero la alternativa está en la comunidad.

Con asesoría y recursos se puede. Sobre todo, quienes están organizados buscan opciones al interior. La gente de afuera tiene que aprender y reconstruir con base en el conocimiento que tienen las comunidades. No podemos perder esto. Tenemos que guardar este control de nuestras propias semillas, pues sino ya perdimos (19/06/02).

Percepción social y rechazo al uso de transgénicos en México: un ejemplo en Oaxaca

¿Cómo es percibido el entorno ecológico/social por el individuo y por el colectivo cultural y social al que pertenece? Ésta es una pregunta fundamental a considerar en los estudios que se abocan a las complejas interrelaciones de la sociedad humana y la biósfera.

Las decisiones y acciones de una sociedad en relación con el ambiente están basadas tanto en aspectos objetivos como subjetivos; es una de las principales premisas en el estudio de las percepciones (Whyte, 1977). Las investigaciones sobre la percepción del ambiente ecológico están fundadas sobre las relaciones sociedad-naturaleza, y puesto que éstas tienen su base en una comprensión individual y colectiva, la percepción es uno de los factores determinantes que modelan el ambiente por medio de la selección y los comportamientos del ser humano (MAB, 1978).

En las percepciones están las deducciones, construcciones e interpretaciones que cada individuo construye socialmente. Las percepciones, entendidas como las comprensiones y sensibilidades de una sociedad sobre su ambiente natural, involucran conocimientos y organizaciones, valores que se otorgan a ciertas preferencias y formas de selección que dependen de las relaciones de género, las clases sociales, la influencia de los medios de comunicación, la educación y el dominio de la ideología hegemónica (Lazos y Paré, 2000). Colectivizamos nuestras estructuras cognoscitivas sobre la naturaleza por medio de descripciones comunicadas, formas culturales de expresión, argumentos y representaciones sociales en una continua interacción. La estructuración adoptada estará siempre sujeta a una dinámica de múltiples factores sociales, económicos y culturales y jugará un papel fundamental en la determinación de acciones y de elecciones futuras (Lazos y Paré, 2000). Además de esta desigualdad en la captación y organización de vivencias, la percepción es vista como un proceso parcial. Nunca llegamos a percibir el conjunto de una situación o de un problema (Merleau-Ponty, 1997). Por ende, la

priorización de los problemas y su explicación tiene como base esta alta heterogeneidad de percepciones.

En otro eje teórico, estas percepciones están atravesadas continuamente por relaciones de poder. ¿A qué tipo de conocimientos tienen acceso los productores?, ¿quiénes controlan estos conocimientos?, ¿qué tipo de conocimientos circulan y controlan decisiones productivas o de consumo?

Tener en cuenta estas premisas teóricas es fundamental para entender las contradicciones en la estructuración de las percepciones entre ideologías contrastantes. Los pueblos indígenas y mestizos de México son altamente heterogéneos debido a múltiples causas: desde experiencias individuales en torno a la influencia de sus circuitos migratorios, inclusive hasta Estados Unidos, y medios de comunicación (patrones de consumo, por ejemplo) hasta respuestas y acciones comunitarias frente a las políticas estatales y federales de desarrollo. Por ello encontramos una gama de respuestas en las comunidades visitadas en Oaxaca (durante una serie de entrevistas realizadas en el periodo de 2002 a 2005) frente a la aceptación o el rechazo de la posible introducción de los cultivos transgénicos.

Desde las reformas estructurales y la desaparición de las instituciones públicas de capacitación productiva, los agricultores cuentan con la asesoría técnica de las tiendas comerciales de agroquímicos y de las múltiples filiales privadas que trabajan para las compañías transnacionales, por un lado, y con el aprendizaje como jornaleros que realizan a través de los grandes y medianos productores que ya han incorporado los paquetes tecnológicos de las empresas. Esto significa que la información con la que cuentan los pequeños y medianos agricultores es totalmente sesgada, por ende, la inclinación hacia la incorporación de la tecnología transgénica se ve apoyada por la ideología del progreso y modernización. Recordemos que algunos líderes de la CNC (Confederación Nacional Campesina) y la Liga de las Comunidades Agrarias son proclives a la aceptación de tecnologías, como el uso de cultivos transgénicos, en nombre del progreso del campo. Estas imágenes y estos discursos son transmitidos continuamente por diversas vías en el medio rural.

Sin embargo, a pesar del bombardeo de información inclinada hacia uno de los polos y a pesar de los imaginarios de progreso, en la investigación realizada en Oaxaca, de las 231 entrevistas hechas a productores en diversas regiones, 184 (80% de las respuestas) prefieren cultivar las semillas de sus propias cosechas, resultado de la selección

continua de sus poblaciones de maíces nativos. Sólo tres personas (1%) contestaron que preferirían comprar las semillas de las empresas. Finalmente, al resto de los productores (44, es decir, 19% de la muestra entrevistada), le daba igual. En cuanto al conocimiento de los maíces transgénicos, registramos que en promedio sólo 32% habían oído hablar de los transgénicos, ya sea en las tiendas de agroquímicos de las cabeceras municipales, por el radio, en asambleas, pláticas entre vecinos productores y en menor número por periódico o folletos. No obstante, encontramos fuertes diferencias en cada región.

La región donde había un mayor número de familias con conocimiento acerca de los transgénicos fue la Sierra Sur (50%) y la Sierra Norte de Juárez (38%), donde se discutieron los resultados de la contaminación de maíces nativos por los maíces transgénicos en varias asambleas. En la Sierra Sur, los sacerdotes bajo la corriente de la Teología de la Liberación jugaron un papel fundamental en la información y discusión sobre los cultivos transgénicos en varias comunidades (particularmente en el municipio de Santa Cruz Itundungia). En la Sierra Norte de Juárez, las asociaciones civiles, especialmente ERA, A.C. (Estudios Rurales y Asesoría Campesina, A.C.) y dos organizaciones campesinas e indígenas (UNOSJO, Unión de Organizaciones de la Sierra Juárez de Oaxaca y UZACHI, Unión de Comunidades Forestales Zapotecas-Chinantecas de la Sierra de Juárez) informaron y discutieron sobre la contaminación. Sin embargo, en otras regiones como en el Istmo de Tehuantepec, sólo 19% de los entrevistados había oído hablar de los transgénicos y en la Mixteca, sólo 14%. En muy pocas ocasiones mencionaron la televisión como fuente de información. En cambio, la mayor parte de los agricultores obtuvo la información en las tiendas comerciales de agroquímicos, pero se refirió al radio como el acceso a la información más confiable.

El caso de la Sierra Sur (Santa Cruz Itundungia) resulta muy interesante, ya que ahí un sacerdote de la corriente de la Teología de la Liberación, con el apoyo de asociaciones civiles (ENLACE, A.C., en especial) organizó festivales del maíz con el objetivo de motivar a las comunidades a conservar sus maíces nativos y de informar sobre los riesgos del maíz transgénico. Esta experiencia duró alrededor de tres o cuatro años, ya que cuando trasladaron al sacerdote a otra comunidad, los agricultores cruceños no pudieron mantener los festivales ni el interés colectivo en la lucha por la defensa de sus maíces y del control de su alimentación. La situación política cambió y otros problemas aquejaron a las comunidades.

Aunque hayan oído hablar de los transgénicos, pocos productores tienen la información sobre los efectos positivos o negativos de los mismos. Como vemos en la Tabla 2, la mayoría del total de los productores (65%) desconoce los efectos, pues no tiene información sobre los transgénicos. El mayor desconocimiento se encuentra entre las familias cuicatecas de la Cañada y entre las familias Mixtecas. Resalta nuevamente la Sierra Sur, donde la mitad de los entrevistados expresaron que los transgénicos tienen efectos negativos. Algunas de sus opiniones son: “no sirven, contagia al criollo”, “crea dependencias”, “no sirve para semillas, hay que comprarlo”, “lo hace la industria para que produzca poco”, “perdemos nuestra riqueza, el polen pasa a nuestro maíz”, “se irán perdiendo nuestros criollos”.

Únicamente 22% de los 231 entrevistados expresaron que los cultivos transgénicos podrían tener efectos negativos sobre su salud y por tanto, no querrían consumirlos. Sólo 2% piensa que los transgénicos son más nutritivos y que tendrían un efecto positivo sobre su salud. Algunas citas ilustrativas son: “aquello que se produzca a fuerza, va en contra de la salud”, “no queremos eso, pues las mujeres se quedan estériles”.

Aunque la mayor parte de los productores desconozcan los efectos de los transgénicos e inclusive, no puedan describir lo que sea un transgénico, la mitad de los productores (51%) externaron su interés por ser informados sobre la procedencia del maíz que compran, cultivan y consumen. No obstante, el resto piensa que no sabe para que pueda servir estar informados, ya que no cambiaría el rumbo de las decisiones sobre

Tabla 2. Efectos posibles de los transgénicos percibidos por los agricultores en diversas regiones de Oaxaca

Región	Efectos negativos	Efectos positivos (mayor rendimiento, control de plagas)	No sabe	Efectos confusos	Total
Sierra Norte	48 (36%)	5 (3.5%)	79 (59%)	2 (1.5%)	134
Cañada			8 (89%)	1 (11%)	9
Mixteca	8 (12%)		28 (78%)		36
Sierra Sur	8 (50%)		8 (50%)		16
Istmo	3 (8%)	1 (3%)	32 (89%)		36

la introducción del maíz transgénico. Es interesante señalar que mientras que en la Mixteca, encontramos el mayor desconocimiento sobre los transgénicos, un alto porcentaje de sus habitantes (78%) quieren estar informados. En la Sierra Sur, aunque muchos escucharon hablar de los transgénicos, 69% expresó su interés por estar más informados y saber con mayor certitud sobre los efectos de estos maíces. En la Sierra Norte, la mayoría (60%) expresó su desinterés en estar informados, ya que la información no cambiaría las decisiones tomadas por las autoridades y por “los políticos de arriba.” Casi la cuarta parte de los productores entrevistados quisiera que el maíz estuviera etiquetado en el caso de que sea transgénico.

Frente al cuestionamiento si los productores cambiarían sus semillas nativas por otras que las industrias trajeran aduciendo su mayor productividad, tenemos 107 productores (de los 231 entrevistados) que no lo harían. Por el contrario, esta centena de productores (casi la mitad de los entrevistados) manifestó su interés por la conservación de sus maíces nativos. Una quinta parte (40 agricultores de los 231 entrevistados) cambiaría su semilla por una más productiva. El resto no tiene clara su decisión, ya que la promesa de introducir un maíz más productivo, sin conocer los efectos, es considerada como una oportunidad que merece ser probada. Cabe resaltar que casi una cuarta parte de los entrevistados (55) se organizaría para protestar por la introducción de cultivos transgénicos.

Con base en los resultados de este estudio de campo, concluimos que los productores no tienen acceso a una información confiable (en palabras de los propios entrevistados). Recordemos que sólo 32% de los entrevistados había oído hablar del maíz transgénico. Por tanto, las familias rurales carecen del acceso a la información y por ende, no cuentan con los conocimientos suficientes para poder decidir. No se encontró ninguna institución gubernamental ni a nivel federal ni estatal ni local que haya dada información verídica. Por el contrario, se encuentra mucho más fuerte, entre los entrevistados, el discurso de los comerciantes de agroquímicos y de semillas de híbridos mejorados.

A pesar de esta desinformación, los productores deciden con base en la experiencia tanto de sus propias semillas y cultivos como de los éxitos y fracasos al sembrar semillas y cultivos introducidos por programas gubernamentales en distintos períodos. Como vimos, aunque reconozcan limitantes y grandes retos, la mayoría de los agricultores quieren seguir conservando y mejorando las semillas nativas. Inclusive en Jaltepec,

bastión de Monsanto, los productores combinan milpas de temporal con maíces nativos para el autoconsumo con parcelas de monocultivos de maíces híbridos, destinados al mercado. La esperanza vive en varias comunidades de Oaxaca como lo expresan dos de sus líderes:

Hace falta innovar completamente. Se necesitan otras políticas sobre el campo mexicano ya que ha sido asistencialista, es dinero que no se ha gastado bien. No ha resuelto el problema de fondo. Habría que partir de un proyecto de desarrollo integral por regiones y consensado por sociedad organizada. A estos programas darles el apoyo técnico y financiero. Con el TLC se ha visto afectada la producción de maíz. Los programas de gobierno se han hecho desde arriba y no han pensado en los campesinos. Atacar el maíz es atacar el valor cultural y alimenticio del pueblo. Se tiene que partir de la idea de que la gente sabe y no es pendeja (Adelfo Regino, entrevista personal, 19/06/02)

Estamos viendo que hay una necesidad ahora sí de diversificar los cultivos. Estamos iniciando ahora con un programa de agricultura sostenible en esas comunidades, en las 10 comunidades. Es un trabajo en el que vamos a tener resultados a largo plazo pero en algún momento tenemos que iniciar porque ahora no va a ser posible continuar de esa manera. El café ya no va a resolver las necesidades. Entonces ahora tenemos que mantener el maíz, el chile, lo básico de nuestra mesa. Pero con enfoque de agricultura sostenible, orgánica, el método de campesino a campesino. Incluso en Jaltepec donde ya no podemos vivir sin las empresas, ahora queremos producir nosotros nuestra semilla de maíz. Tampoco podemos seguir comprando 20 kilos de semilla de maíz en \$900 y tienes que exprimir tu parcela porque allí le pones a tu máquina sembradora quiero 50, 60 ó 70 mil plantas por hectárea. Es una inversión tremenda. Al final no hay respuesta siempre dicen que somos el obstáculo para el desarrollo, que no pagamos impuestos y una serie de cosas y comentábamos en la mañana con estos muchachos que creo que estamos cumpliendo con una función social de poner maíz en la mesa de la gente y sin embargo esto no se considera y sigue viniendo maíz del otro lado que nos desplaza a nosotros (Filiberto Díaz, entrevista personal, 4/06/02).

Como nos lo expresan estos dos líderes, muchas tareas en diversas líneas deben ser llevadas a cabo. Varios ejemplos del entramado de acciones para dibujar la soberanía alimentaria y la defensa de saberes agrícolas para lograr conservar la agrobiodiversidad se encuentra en organizaciones exitosas, tales como el CEDICAM en Oaxaca, la ARIC Unión de Uniones Independiente y Democrática en Chiapas, la Sociedad Cooperativa Mar-

ku Anchekoren de la meseta P´urhepecha en el estado de Michocán, el DESMI (Desarrollo Económico y Social de los Mexicanos Indígenas, AC) en Chiapas, el Proyecto de Desarrollo Rural Integral Vicente Guerrero, y múltiples pequeñas empresas familiares regadas por muchas comunidades (Boege y Carranza 2009; Espinosa y Lazos en prensa).

Las familias productoras han luchado por muchas décadas para lograr mantener una parcela diversificada. Sin embargo, las transformaciones profundas llevan al campo mexicano a una crisis alimentaria y a un alejamiento de la soberanía alimentaria (Calva, 2003; Esparza, 2005; Gómez Cruz y Schwentesius, 2003). Inclusive, las organizaciones rurales con mayor impacto en el estado de Oaxaca, no pueden “aterizar” las metas de manera permanente sobre la recuperación de una agricultura intensiva y rica en cultivos. Los factores que llevan a su desestabilización son múltiples y se entretajan complejamente. Desde la falta de información y canales de comunicación hasta los factores macroeconómicos desfavorables para la agrobiodiversidad, todos éstos nos llevan a construir escenarios futuros para la agricultura altamente vulnerables tanto económica como social y culturalmente. Por ello, resulta difícil acrecentar y propagar proyectos agroecológicos estables a largo plazo. Sin embargo, las organizaciones consideran que estos procesos pueden ser revertidos únicamente cuando incluyan la agrodiversidad en programas prácticos que involucren a la mayor parte de las familias de las comunidades y a través de la construcción de redes entre las organizaciones indígenas/campesinas/rurales y entre éstas y redes de consumidores. Poco a poco, entonces, la conservación de la agrodiversidad será considerada como bandera del bienestar humano.

Referencias.

- Altieri, Miguel y Clara Nicholls, (2000). *Agroecología: teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Serie de Textos básicos para la formación ambiental, México: PNUMA.
- Altieri, M. y V.M. Toledo. (2011). The agroecological revolution in Latin America: rescuing nature, ensuring food sovereignty and empowering peasants. *Journal of Peasant Studies* 38:3, 587-612.
- Bellon, Mauricio, (1991). The Ethnoecology of Maize Variety Management: A Case Study from Mexico. *Human Ecology*, Vol. 19, No. 3, 389-418.

- Berkes, Fikret, Carl Folke y Madhav Gadgil. (1995). Traditional Ecological Knowledge, Biodiversity, Resilience and Sustainability. En Perrings, R. *et al.* (Ed.) *Biodiversity Conservation*, Netherlands, Kluwer Academic Publ.
- Boege, Eckart y Tzinnia Carranza (2009). *Agricultura sostenible campesino-indígena, soberanía alimentaria y equidad de género. Seis experiencias de organizaciones indígenas y campesinas en México*. México, D.F.: Ed. PIDAASSA, Brot für die Welt, Xilotl Servicios Comunitarios, 269.
- Calva, José Luis, (2003). La agricultura mexicana frente a la nueva ley agrícola estadounidense y la ronda de liberalizaciones del TLCAN. En Schwentesius, R., M. Ángel Gómez, J.L. Calva Téllez, y L. Hernández Navarro (eds.) *El Campo Aguanta Más?* Texcoco, México: La Universidad Autónoma de Chapingo, 23-49.
- Casas, Alejandro, Juan Luis Viveros, Esther Katz y Javier Caballero. (1987). Las plantas en la alimentación mixteca: Una aproximación etnobotánica. *América Indígena*, Vol. XLVII, Año XLVII, Núm. 2, 317-343.
- Dary, Claudia, (Coord.). (2002). *Género y biodiversidad en comunidades indígenas de Centroamérica*. Guatemala, Ed. FLACSO.
- Davis, Shelton, (Ed.). (1993). *The Social Challenge of Biodiversity Conservation*. UNDP, UNEP, The World Bank.
- Dumont, René, (1935-1995). *La culture du riz dans le delta du Tonkin, Thailand*, Prince of Songkla University, 593.
- Esparza, Luis. (2005). Globalización y seguridad alimentaria en México. En: Barragán López, E. (Ed.), *Gente de campo. Patrimonios y dinámicas rurales en México*, Zamora, Michoacán, Ed. El Colegio de México, 517-534.
- Espinosa, Dulce y Elena Lazos, (en prensa). Redes de familias productoras de maíces: Entre el beneficio y la desconfianza. En Ortega-Paczka, R. (Coord.). *Bases metodológicas y experiencias en proyectos de conservación in situ y mejoramiento participativo de maíces criollos en México*. Montecillos, México: Ed. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos-Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Colegio de Posgraduados.
- FAO, (2008). *Agricultural Biodiversity*, Rome. <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/i0112e/i0112e.pdf>
- Gómez Cruz, M. y R. Schwentesius Ridermann. (2003). Impacto del TLCAN en el sector alimentario: Evaluación a diez años. En: Schwentesius, R., M. Ángel Gómez, J.L. Calva Téllez, y L. Her-

- nández Navarro (Eds.), *El Campo Aguanta Más? Texcoco*, México: La Universidad Autónoma de Chapingo, 51-71.
- Gourou, Pierre. (1965). *Les paysans du delta tonkinois. Études de géographie humaine*, Paris-La Haye, Ed. Mouton, 666.
- Hernández-Xolocotzi, Efraím. (1959). La agricultura. En: Beltran, E. (ed.) *Los Recursos Naturales del Sureste y su Aprovechamiento*. Tomo III, Capítulo 1, México, Instituto Mexicano de Recursos Naturales Renovables.
- INEGI, (2009). *Resultados del VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal*. Comunicado núm. 088/09, Aguascalientes, Ags.
- INEGI (2010). *Censo de Población y Vivienda 2010*.
- Lazos Chavero, Elena. (1992). *Du Maïs à l'Orange: Transformation de Systemes Agraires*. Thèse de Doctorat en Anthropologie Sociale et Socio-Economie du Développement, Paris, Ecole des Hautes Etudes en Sciences Sociales.
- Lazos Chavero, Elena, (1995). La milpa en el sur de Yucatán: dinámica y crisis. En: Hernández-X. E., E. Bello y S. Levy (comp.) *La Milpa en Yucatán*. México: Colegio de Postgraduados, Tomo 2, 565-607
- Lazos Chavero, Elena, (2008). La fragilidad de la biodiversidad: Semillas y suelos entre una conservación y un desarrollo empobrecido. En: Seefoó, J. Luis (Coord.) *Desde los colores del maíz: Una agenda para el campo mexicano*, Zamora, Michoacán, Ed. El Colegio de Michoacán, 457-487
- Lazos Chavero, E. y Luisa Paré. (2000). *Miradas indígenas sobre una naturaleza entristecida: Percepciones del deterioro ambiental entre nahuas del sur de Veracruz*, México: Ed. Plaza y Valdes e Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, 220.
- Lazos Chavero, Elena y Michelle Chauvet. (2011). *Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México*. México: CONABIO http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo9_Analisis_Especialistas/Lazos%20y%20Chauvet%202011.pdf
- mab-unesco. (1978). *La perception de l'environnement: lignes directrices méthodologiques pour les études sur le terrain*. Notes techniques du MAB 5. Préparé en coopération avec le Scope, UNESCO.
- Marcus, Joyce. (1982). The Plant World of the Sixteenth and Seventeenth Century Lowland Maya. En Flannery, K. (ed.) *Maya Subsistence*, New York, Academic Press, 259-273.

- Merleau-Ponty, Maurice. (1997). *Fenomenología de la Percepción*. 4ª ed., Barcelona, Ed. Península.
- Ostrom, Elinor. (2011). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*, México, D.F., IIS-UNAM / FCE.
- Pichón, Francisco, Jorge Uquillas y John Frechione (Eds). (1999). *Traditional and Modern Natural Resource Management in Latin America*. Pittsburgh, PA, Univ. of Pittsburgh Press.
- Robles, H. (2010). ¿Qué programas agrícolas llegan a las comunidades de bajos ingresos? En Jonathan Fox y Libby Haight *Subsidios para la desigualdad. Las políticas públicas del maíz en México a partir del libre comercio*. Santa Cruz: Woodrow Wilson International Center for Scholars/CIDE/Universidad de California.
- Rojas, Teresa. (1995). *Presente, pasado y futuro de las chinampas*, México: CIESAS- Patronato del Parque Ecológico de Xochimilco.
- Soleri, Daniela y David Cleveland. (2001). Farmers Genetic Perceptions Regarding Their Crop Populations: An Example with Maize in the Central Valleys of Oaxaca, Mexico. *Economic Botany* 55 (1): 106-128.
- Thrupp, Lori Ann. (1998). *Cultivating Diversity: Agrobiodiversity and Food Security*. Washington, World Resources Institute.
- Warman, Arturo. (1988). *La historia de un bastardo: maíz y capitalismo*, México UNAM, Fondo de Cultura Económica.
- Whyte, Anne. (1977). *Guidelines for field studies in environmental perception* MAB Technical Notes 5, Paris, UNESCO, 117.



CAPÍTULO 13
LINEAMIENTOS MÍNIMOS PARA UN PROGRAMA NACIONAL
DE BIOMONITOREO Y BIOSEGURIDAD DE OGM EN MÉXICO



*Alma Piñeyro Nelson, Elena R. Álvarez-Buylla,
Alejandra Celeste Dolores Fuentes y José Antonio Serratos Hernández*

Introducción

Un aspecto central de la bioseguridad de organismos genéticamente modificados (OGM) implica la capacidad de monitorear el escape y presencia no deseada o planeada de secuencias recombinantes (transgénicas) o transgenes en los genomas de variedades locales o nativas. La bioseguridad de OGM también tendría que considerar las consecuencias de dicho escape o presencia no deseada de transgenes en la salud y el ambiente. Pero en este ámbito existen aún muchas incógnitas o incertidumbres que ni siquiera pueden enumerarse por la naturaleza compleja de los organismos vivos y sus ecosistemas. Aunque desde la introducción de las primeras plantas transgénicas se han hecho esfuerzos valiosos por establecer lineamientos para la evaluación de OGMS en el ambiente y sus consecuencias (Tiedje *et al.*, 1989; NRC, 1989; Rissler y Mellon, 1993; Rissler y Mellon, 1996), con base en los cuales se han desarrollado marcos regulatorios de bioseguridad y algunos esquemas de biomonitoreo novedosos (Ej., Martens, 2008; Heinemann *et al.*, 2011), dicha naturaleza compleja de los seres vivos y los ecosistemas imposibilita análisis de riesgo cuantitativos, pues no es posible predecir cuales serán todos los efectos de las inserciones transgénicas y sus combinaciones en las miles de variedades nativas de maíz y en los diversos

agroecosistemas o ecosistemas naturales circundantes en donde dichas variedades se cultivan. Por lo anterior, resulta fundamental evitar el flujo de secuencias recombinantes de los organismos transgénicos a las variedades nativas, y para ello es importante contar con métodos eficaces que permitan monitorear a tiempo las fuentes y el escape o presencia no deseada de dichas secuencias transgénicas.

En este capítulo se analizarán tres aspectos fundamentales implicados en la detección de OGM: 1) los métodos de laboratorio basados en técnicas de biología molecular que actualmente son los más utilizados para la detección de transgénicos, así como sus limitaciones tanto técnicas como prácticas; 2) los esquemas para la toma de muestras en campo, que consideran el tamaño adecuado de una muestra (N), incluyendo número y distribución en el espacio de agricultores, campos de cultivo o de mazorcas y granos/semilla de maíz a colectar, factores que pueden afectar la capacidad para detectar transgenes presentes en bajas frecuencias y distribuidos de manera no homogénea; y 3) la infraestructura institucional (técnica y de personal capacitado) para llevar a cabo análisis moleculares de biomonitorio. En este último sentido, aseveramos que en México no existe la capacidad técnica o la organización institucional suficiente para detectar a tiempo y evitar la dispersión de transgenes en los acervos de maíz mexicano, y por lo tanto para asegurar que las variedades nativas de maíz permanezcan libres de transgenes (ver también capítulos 3 y 4).

Asimismo, concluimos que debido a su calidad de centro de origen y diversidad del maíz, e independientemente de la capacidad de monitoreo que se instale, en México ésta será inútil para garantizar la coexistencia sin flujo génico entre maíces transgénicos y no transgénicos una vez que se generalice la presencia de transgenes en los maíces mexicanos. En este sentido, se establece como prioritario el impedir que se sigan infiltrando transgenes a las variedades nativas de maíz cuyas vías de entrada más probables son: el maíz que se importa a granel y sin previa inspección, desde Estados Unidos, las semillas de híbridos comerciales provenientes de Estados Unidos y otros países como Sudáfrica, que pueden venir contaminados con híbridos transgénicos, y los maíces promovidos por el gobierno mexicano, los cuales también pueden estar mezclados con transgénicos.

A estas posibles fuentes de diseminación de transgenes se suma la evidencia científica resumida en el capítulo 3, que demuestra la gran movilidad de los maíces GM y la incapacidad de controlar su disper-

sión e introgresión a maíces nativos existentes a miles de kilómetros de distancia de siembras de transgénicos. En este capítulo se aportan los elementos científicos fundamentales y las prioridades en materia de bioseguridad y biomonitoreo.

¿Qué es el biomonitoreo y qué técnicas se utilizan para detectar los OGM?

El biomonitoreo de organismos genéticamente modificados se refiere a la detección de OGM o sustancias derivadas de ellos en una muestra. Dicho biomonitoreo puede utilizar muestras procesadas (alimentos industrializados, insumos alimenticios o de otra índole), así como semillas o tejido proveniente de plantas vivas. En estos productos se puede llevar a cabo pruebas de biología molecular para localizar la presencia de diversas moléculas biológicas: secuencias genéticas transgénicas o transgenes (ADN); productos intermediarios (ARN) o productos finales (proteínas recombinantes). Estos métodos moleculares son indispensables para la detección puesto que los OGM de uso agrícola existentes actualmente en el mercado no son distinguibles visualmente de sus contrapartes no transgénicas.

Para detectar la presencia de transgenes a nivel de ADN se utiliza la reacción en cadena de la polimerasa (PCR, por sus siglas en inglés) en dos modalidades: cualitativa (presencia/ausencia del gen) o cuantitativa (número de copias del gen/número de individuos o genomas analizados). Esta técnica lleva a cabo una clonación o copia repetida de una secuencia de ADN de interés en una mezcla *in vitro*. Es una técnica muy sensible a la presencia de pocas copias del gen de interés, por lo que hay que poner controles experimentales (positivos y negativos) adecuados para evitar obtener resultados inciertos o amplificaciones de secuencias contaminantes, es decir, falsos positivos.

Otra prueba basada en el ADN es la hibridación ADN-ADN tipo *Southern blot* (determinación del número de copias de un gen en una muestra individual). Esta técnica es más confiable pues se basa en el análisis directo del material genético de la planta, pero necesita de grandes cantidades de ADN de buena calidad (no apta para muestras donde el ADN está parcialmente degradado), así como de mayor elaboración y dificultad técnica, pero es menos susceptible a generar falsos positivos.

De estas dos técnicas basadas en detección de transgenes a nivel de ADN, la más utilizada es la prueba de PCR, ya que el ADN es bastante resistente a la manufactura de productos procesados y de éstos se puede extraer fragmentos pequeños de ADN, con los cuales se hacen pruebas de PCR para detectar secuencias cortas. Además, la prueba de PCR puede generar información cuantitativa. Una desventaja importante, es que existe evidencia de que el PCR cuantitativo puede generar resultados inesperados y no fáciles de interpretar cuando se usa en maíces nativos (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009b); dado lo anterior, es necesario estandarizar/optimizar dicha técnica para diferentes contextos genómicos/razas nativas. Por ello es que los laboratorios cuyas metodologías han sido estandarizadas basándose en protocolos elaborados por compañías extranjeras (como GENETIC ID o GENESCAN), que han establecido sus protocolos con base en híbridos comerciales, necesitarán nuevos controles para los distintos maíces nativos. Dado lo anterior, es preocupante que los laboratorios de análisis de las instancias del sector público mexicano encargadas de la bioseguridad y biomonitoreo no hayan hecho públicas en forma rigurosa y detallada en la literatura especializada las técnicas de estandarización que están usando para detectar transgenes en las variedades nativas de maíz de nuestro país (Ej., Rojas Villegas, 2011).

Las dificultades técnicas discutidas arriba deben ser analizadas y solucionadas para asegurar que no se acumulen transgenes en la gran diversidad de variedades/razas nativas de un centro de origen/diversidad. Dicha diversidad genética inherente a las variedades o especies nativas, más las potenciales combinaciones de transgenes que se podrían generar vía flujo génico reiterado de un cultivo transgénico a su contraparte no transgénica, harán prácticamente imposible el monitoreo y seguimiento no sólo de la presencia de transgenes en estas variedades o especies nativas, sino de sus efectos (ver capítulo 3). Por ello, la dispersión de transgenes debe detectarse en los momentos incipientes de su ocurrencia, privilegiando la detección y cancelación de las fuentes de entrada de transgenes. Para lograr lo anterior es fundamental que, para toda técnica de laboratorio usada para llevar a cabo biomonitoreo, se cuente con los controles experimentales (negativos y positivos) adecuados. Desafortunadamente, el acceso a dichos controles, no es siempre posible por secreto industrial.

Los transgenes también se pueden detectar mediante el análisis de la presencia de moléculas intermediarias (ARNm), utilizando una

modificación de la técnica de PCR llamada RT-PCR, o mediante una hibridación entre una molécula de ADN y de ARN llamada *Northern blot*. Estas técnicas son poco utilizadas para llevar a cabo biomonitoreo ya que el ARN es una molécula mucho más lábil que el ADN y suele estar altamente degradada en productos procesados (para el caso del RT-PCR), mientras que se necesitaría extraerla en cantidades relativamente grandes para el caso del *Northern blot*.

Otra alternativa para detectar productos de la transgénesis es a partir de la detección de proteínas recombinantes producidas por un transgén. Esto se puede llevar a cabo por medio de varias técnicas: mediante una hibridación proteína-proteína llamada *Western blot* (al igual que en todas las técnicas *blot* mencionadas, se necesita una cantidad alta de la molécula bajo análisis y ésta no debe estar degradada). Otra prueba de laboratorio consiste en ensayos de tipo inmunológico, en donde se detectan proteínas recombinantes mediante un ensayo antígeno-anticuerpo. En esta categoría están las pruebas más utilizadas para determinación de proteínas recombinantes activas: las pruebas tipo ELISA (Enzyme-Linked Immunosorbent Assay, por su siglas en inglés). Estas pruebas tienen una alta sensibilidad y especificidad, además de que pueden ser usadas de manera cuantitativa. Pero una desventaja importante de este tipo de pruebas es que no se han estandarizado para todas las proteínas recombinantes existentes, por lo que si una planta es negativa en una prueba de ELISA no se puede asegurar que no sea transgénica, sólo que no produce esa proteína recombinante en particular. En contraste, el PCR o SB para el promotor 35S CaMV, por ejemplo, estaría detectando más del 85% de las líneas de maíz transgénico comercializadas en Estados Unidos (ver www.agbios.org). Además, las pruebas de ELISA se pueden ver afectadas por fenómenos bioquímicos de silenciamiento transcripcional y postranscripcional, cuyo resultado fundamental es que una planta transgénica no produce la proteína recombinante esperada (Lakshminarayan *et al.*, 2000). Este fenómeno ha sido documentado experimentalmente en numerosas líneas de plantas transgénicas (Lakshminarayan *et al.*, 2000).

Es importante señalar que todas las pruebas anteriores tienen que ser llevadas a cabo a partir de extractos de la molécula de interés (ADN, ARN, proteína recombinante). Además, dependiendo del tipo de prueba a realizar, se requiere una mayor o menor preparación técnica, así como equipo de laboratorio e insumos cuyos costos oscilan entre 2 y 450 dólares por muestra, (para las técnicas, ver: Tripathi, 2005; y para

un cálculo de los costos, ver: www.porquebiotecnología.com.ar/index.php?action=cuaderno&opt=5&tipo=1¬e=118).

Un último tipo de pruebas que se puede llevar a cabo son las fisiológicas en plantas o tejidos vivos. Estos ensayos se enfocan en detectar la producción de una proteína que confiere una cualidad particular a la planta bajo estudio, que no está presente en plantas no transformadas genéticamente, como puede ser la resistencia a ciertos antibióticos, herbicidas, etcétera. En este caso, se puede “pintar” (aplicar de manera exógena) un área particular de la planta con un antibiótico o herbicida y observar si hay necrosis (muerte celular) localizada. Si la planta no es resistente a este producto, entonces no posee el transgén que se está buscando, el cual le hubiera conferido dicha resistencia. Si la planta es resistente, entonces se puede inferir que posee un transgén que le confiere la resistencia. Una de las limitaciones de esta técnica es que no todas las plantas transgénicas producirán la proteína recombinante en dosis lo suficientemente altas como para ser claramente resistentes, además de que las condiciones ambientales pueden afectar la respuesta. Además, en algunos casos las plantas nativas pueden presentar la resistencia por variabilidad genética natural. Por estos motivos, dicha técnica no es muy utilizada o sólo es utilizada como complemento a otras de las técnicas mencionadas previamente.

Finalmente, se recomienda que se usen al menos dos técnicas independientes para cada individuo o muestra a analizar, para así poder asegurar la presencia o ausencia de un transgén.

Criterios para el muestreo de maíces nativos en el campo

A pesar de que se cuente con una técnica analítica de laboratorio que de manera eficaz detecte los transgenes, es imprescindible contar con una metodología adecuada para decidir cuántas muestras, con qué distribución (en el espacio geográfico, en los hogares, etcétera) y qué número de individuos, mazorcas o granos por muestra se tomarán del campo. Si la toma de muestras no se hace de la manera correcta, los positivos pueden existir y pasar inadvertidos porque no se les muestrea. Esto es particularmente cierto para casos en que las frecuencias son muy bajas o están muy agregadas. Entonces es crucial que el grado de error por “muestreo” se minimice.

Los métodos de muestreo deben tomar en cuenta la demografía/estructura de las poblaciones de maíz en México, sobre todo cuando se realicen colectas de maíz en sistemas de agricultura tradicional, donde los agricultores cosechan y guardan semilla en cada ciclo agrícola. En este tipo de sistema agrícola se ha documentado que la estructura de las poblaciones de maíz (entendida aquí como las parcelas de maíz dentro de una comunidad), está altamente influenciada no sólo por la tasa de polinización de una mazorca particular, esto es, por las plantas vecinas que funcionan como plantas macho que proveen el polen, sino de manera importante por el manejo campesino, tanto en lo referente a qué semillas son sembradas en el siguiente ciclo agrícola, como por la dinámica de intercambio de semilla entre agricultores (ver Louette y Smale, 2000; Bellón y Berthaud, 2004; Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a). Ambos fenómenos han generado la enorme riqueza genética del maíz en México. Pero la consecuencia práctica de la biología y manejo humano del maíz es que un gen recientemente introducido en una población de maíz, que esté presente en frecuencias bajas, no tendrá una distribución homogénea en dicha población, si no que en algunas parcelas tendrá frecuencias muy altas y en otras tantas, éstas serán cero o cercanas a cero (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a; Snow, A. 2009). La implicación práctica de estas observaciones es que, si se lleva a cabo un muestreo de plantas de maíz en campo asumiendo una distribución homogénea (uniforme) de un transgén, existirá una probabilidad alta de no detectarlo por un error de (sub)muestreo, es decir, para tomar muy pocas semillas/plantas de maíz. El único reporte de funcionarios encargados de la bioseguridad del gobierno de México que ha sido publicado en una revista científica internacional prestigiosa (Ortiz-García *et al.*, 2005) aseguró que no encontró transgenes en los maíces de Oaxaca en muestras de 2002 y 2003 a pesar de que en sus propios estudios previos habían detectado una frecuencia alta de transgenes en esas poblaciones (Ezcurra *et al.*, 2002) y que en 2001 Quist y Chapela reportaran que habían encontrado transgenes en variedades nativas de la misma entidad de México. Posteriormente, se demostró que sí había contaminación transgénica en las mismas poblaciones de maíces nativos en cuestión (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a y b). Se argumentó en un estudio científico aparecido en la revista «Molecular Ecology», que el estudio hecho y publicado por los técnicos de instancias del sector público, probablemente no encontró los transgenes en localidades de Oaxaca por el tipo de muestreo realizado, aunque tampoco se pueden descartar falsos negativos (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009b).

Aún hace falta llevar a cabo más investigación sobre las estrategias óptimas de muestreo en los diferentes sistemas agrícolas y tomar en cuenta: la estructura poblacional, las dinámicas de uso y reemplazo de semillas, y la frecuencia potencial de transgenes. Estos parámetros probablemente varíen de manera significativa de sistema en sistema agrícola en nuestro país (Dyer *et al.*, 2009), aunque en Piñeyro y colaboradores (2009a) se establecen algunos lineamientos básicos y se muestran resultados de simulaciones por computadora que fundamentan las aseveraciones anteriores.

Capacidad institucional e independencia de intereses comerciales

Tanto las pruebas moleculares como los criterios de muestreo en campo deben ser realizados por personal con un alto grado de capacitación técnica específica para garantizar la certeza y reproducibilidad de los resultados obtenidos a partir de un esfuerzo de biomonitorio. En el caso de las pruebas de laboratorio, éstas deben ser realizadas en condiciones controladas y por personal capacitado en laboratorios con la infraestructura adecuada para llevar a cabo ensayos de biología molecular. Además, idealmente, para cada muestreo se deben hacer colectas por duplicado y análisis doble-ciego por al menos dos laboratorios independientes. En todos los casos, los laboratorios encargados del análisis de muestras deben llevar a cabo su labor sin ningún conflicto de intereses con respecto de los posibles resultados.

Dados los dos aspectos técnicos fundamentales involucrados en el biomonitorio de transgenes en maíz (muestreo y detección), aunado al tamaño, extensión y distribución de la producción maicera en México, es necesario contar con suficientes técnicos capacitados en esquemas adecuados de muestreo en campo, pero especialmente contar con suficientes laboratorios estatales especializados en detección de OGM. También será necesario el desarrollar nuevas metodologías que permitan un monitoreo más expedito y extensivo al alcance de todos los agricultores. Recientemente, se han propuesto algunas metodologías novedosas que pueden ayudar en este sentido (Kiddle *et al.*, 2012).

Los laboratorios encargados de verificar los monitoreos necesitarán estar capacitados para detectar no sólo transgenes en muestras de semillas o plantas provenientes del campo, sino también, de manera fundamental, en grano de maíz importado desde países donde se pro-

duce maíz transgénico, así como en alimentos procesados (tortillas, totopos, etcétera). En México se ha demostrado que es posible detectar transgenes en alimentos altamente procesados y también en tortillas y otros derivados de maíz (por ejemplo, las investigaciones efectuadas por la Dra. Amanda Gálvez de la Facultad de Química, UNAM).

En México, la capacidad técnica, el personal capacitado y la infraestructura instaladas son insuficientes; actualmente no existe la capacidad para llevar a cabo un biomonitoreo eficaz y público. En uno de estos laboratorios (Rojas Villegas, 2011), en el informe del 2011 reportan haber realizado un total de menos de 3000 muestras que es mucho menor al esfuerzo logrado en algunos laboratorios de investigación, que con muchos menos recursos financieros, han logrado demostrar y publicar en la literatura científica que los transgenes pueden moverse a grandes distancias y han llegado a varias entidades del territorio nacional (Ej., Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a y b). Por otro lado, el laboratorio nacional que se encuentra formalmente certificado para llevar a cabo biomonitoreo de OGM: el CENICA menciona que hay 12 laboratorios a nivel nacional que han desarrollado de manera independiente métodos de detección de OGM, tanto de muestras obtenidas directamente de tejidos vivos como de otras matrices como alimentos procesados, sin embargo, la información sobre quiénes son, dónde están, qué pruebas han montado, o que resultados han obtenido no está disponible públicamente. A continuación se hace una breve cronología de los esfuerzos gubernamentales para crear una infraestructura de biomonitoreo con el fin de explicitar las carencias actuales en torno a este tema en nuestro país.

En 2004 —tres años después del primer caso probado de presencia de transgenes en maíces nativos mexicanos (ver Quist y Chapela, 2001)— el Instituto Nacional de Ecología (INE) inauguró, como resultado del apoyo del proyecto GEF-CIBIOGEM “Fortalecimiento de la Capacidad Nacional para el cumplimiento del Protocolo de Cartagena”, el Laboratorio de Biología Molecular en el Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (CENICA), en donde se realiza la detección, identificación y cuantificación de OGM. En 2005, éste se convierte en el primer laboratorio a nivel nacional acreditado en la prueba para detección de maíz genéticamente modificado ante la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA)(www.ine.gob.mx).

Para validar los métodos empleados, el CENICA trabaja con Materiales de Referencia Certificados obtenidos principalmente del Instituto

de Materiales y Medidas de Referencia (IRMM), que forma parte del Centro de Investigaciones Comunes de la Comunidad Europea (JRC) (www.ine.gob.mx).

Asimismo, desde su acreditación, otro de los cometidos del CENICA es fungir como “laboratorio de referencia en materia de análisis de OGM, además de realizar investigaciones y colaborar en el monitoreo de OGM, competencias que le fueron atribuidas en el Reglamento Interior de la SEMARNAT en su artículo 115 fracciones XVI y XVII, respectivamente. Desde 2005 a la fecha ha realizado análisis de muestras obtenidas del monitoreo de OGM en 11 estados del país” (www.ine.gob.mx).

Dicho laboratorio, dependiente de la SEMARNAT, no sólo se dedica a esta labor; también lleva a cabo ensayos de calidad de agua, etcétera. Ahora bien, dado el volumen de siembra de maíz en México (9 millones de hectáreas en 2008; ver: www.sagarpa.gob.mx) y el volumen de importación de grano de maíz procedente de Estados Unidos (10 millones de grano en 2009; ver: www.sagarpa.gob.mx), país que es el principal productor de maíz transgénico en el mundo, cuyos lotes de maíz no son segregados previamente a su importación a nuestro país, la presencia de un laboratorio a nivel nacional y de algunos otros que se han ido montando (Rojas Villegas 2011) con poca capacidad de trabajo y de actualización científico-técnica para biomonitoreo de OGM es a todas luces insuficiente.

En concordancia con esta apreciación, en septiembre de 2007, la Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental (DG-CENICA) realizó el primer foro nacional de métodos de detección de OGM como el primer paso para “identificar a los laboratorios de instituciones académicas, gubernamentales, privadas y del sector social que, en una segunda fase, se esperaba conformaran la Red Nacional de Laboratorios de detección de OGM en México”, los cuales serían capaces de brindar asesoría técnica, realizar análisis de muestras y homologar métodos de laboratorio. En dicho foro se identificaron algunas necesidades como la capacitación técnica, la existencia de un laboratorio central que funja como la entidad que resguarde las muestras y las distribuya a los diferentes laboratorios, la definición de un comité técnico que coordine las actividades de la red, y la realización de actividades encaminadas a la validación de las metodologías empleadas en los laboratorios de la red (www.ine.gob.mx). En ningún momento quedó acreditada la necesidad de estandarizar las técnicas de biología molecular para detección de transgenes en maíces nativos, a pesar de haber sido

mencionado como algo prioritario por algunos de los asistentes a esta reunión o haberse demostrado como imprescindible en publicaciones científicas (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a).

Esta red tiene como objetivos: establecer la agenda de investigación prioritaria para el monitoreo de OGM que confiera dirección a los esfuerzos coordinados dentro de la red; proponer, desarrollar y evaluar investigaciones que hagan posible la integración de resultados, su comprobación y comparación sobre el monitoreo de los OGM liberados en el ambiente; realizar investigación científica a fin de generar información que facilite a las autoridades competentes la evaluación, el manejo y la comunicación de los beneficios y los riesgos por la liberación de los OGM en México, así como generar protocolos, manuales y lineamientos para documentar y sistematizar las actividades de monitoreo, sus resultados y análisis. Como es patente, esta red tendría que cubrir un espectro demasiado amplio de labores que podrían ser contradictorias: por un lado establecer una agenda de investigación de biomonitoreo *ad hoc* para el contexto mexicano, y por el otro, comunicar los beneficios y riesgos del uso de los OGM. En el medio, integrar y comprobar resultados de monitoreo de OGM liberados en el ambiente. Esta combinación contradictoria no sólo forma parte de la red, también está presente en la LBOGM, que se propone a la vez normar y promover el uso de OGM.

Esta red no se presentó oficialmente sino hasta el 27 de julio de 2009, cuando fue descrita como una herramienta de apoyo para evaluar, con sustento científico y técnico, los efectos —tanto positivos como negativos— que pudieran tener los OGM en el ambiente. Una vez más se confundía lo que debería ser el cometido de una red de biomonitoreo: monitorear la presencia de OGM y sus derivados en cultivos y productos procesados que pudieran contenerlos (www.cibiogem.gob.mx).

Lamentablemente, la única realidad ante la disyuntiva anterior es que, a la fecha, la Red Mexicana de Monitoreo de Organismos Genéticamente Modificados no cuenta con una red nacional de laboratorios de detección de OGM, libres de conflictos de interés, con capacidad técnica suficiente para efectuar un monitoreo a nivel nacional, pues se ha visto que los métodos usados en laboratorios comerciales certificados pueden proporcionar información poco precisa al incurrir en falsos negativos (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a y 2009b; folleto de CIBIOGEM).

Adicionalmente a la Red de Biomonitoreo, y de manera coincidente con la modificación del reglamento emanado de la LBOGM en marzo de 2009, se instauró el Centro Nacional de Referencia en Detección

de Organismos Genéticamente Modificados (CNRDOGM) del SENASICA, proyectándose como un centro con capacidad de entrega inmediata de resultados, siempre mediante el desarrollo y la validación de nuevos protocolos de detección de OGM. Con este cometido, el CNRDOGM pretende representar ante la sociedad una institución de vanguardia y liderazgo en la detección de los productos que la biotecnología moderna genera (www.senasica.gob.mx).

De manera interesante, se menciona que durante la semana del 16 al 20 de noviembre de 2009, personal del CNRDOGM participó en el entrenamiento para la transferencia de tecnologías en materia de detección, identificación y cuantificación de (OGM) de uso agroalimentario en las instalaciones de GENETIC ID —laboratorio comercial de detección de OGM—, en lugar de capacitarse en laboratorios públicos europeos o latinoamericanos que han desarrollado investigación propia para detectar transgenes, o de desarrollar métodos propios aptos para los maíces nativos mexicanos. Como se mencionó arriba el CNRDOGM ha gastado muchos recursos y producido resultados muy limitados y de manera poco transparente (Rojas Villegas 2011).

Otro de los laboratorios de los que se sabe que ha recibido algún tipo de capacitación para biomonitoreo se encuentra en el Centro de Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), un centro público de investigación que pertenece al Sistema de Centros del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT): el Laboratorio de Unidad Biotecnológica, que en 2008 fue acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación A.C. (EMA).

Finalmente, el Departamento de Alimentos y Biotecnología de la Facultad de Química de la UNAM, liderado por la Dra. Amanda Gálvez Mariscal y la Dra. Maricarmen Quirasco Baruch, ha tenido entrenamiento internacional desde 1992 en Bioseguridad como un área emergente en el Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (ICGEB) y OCDE-Biotecnología. En 2002 iniciaron relaciones académicas con la empresa GENETIC ID (Gálvez Mariscal y Quirasco Baruch, 2008), pero a la fecha no se encuentra disponible información acerca de acreditaciones en el rubro de monitoreo y detección de OGM.

Si consideramos estos cuatro laboratorios como partícipes de los doce laboratorios que están considerados dentro de la red, entonces hay ocho laboratorios más de los cuales no se tiene información ni se sabe qué proceso de estandarización/certificación tienen; es decir, no hay transparencia en este sentido. El único de los cuatro laboratorios

que ha reportado sus datos en revistas científicas es el dirigido por la Dra. Amanda Gálvez en la UNAM.

Otro aspecto notable durante el establecimiento de esta red, que resulta muy problemático para el contexto mexicano, es que se está favoreciendo la estandarización y certificación de los laboratorios participantes a partir de criterios y técnicas moleculares que no han sido corroboradas como útiles, robustos y replicables para la detección de transgenes en maíces nativos, desde un laboratorio del estado. Esto no ha sido investigado a pesar de existir reportes de investigadores mexicanos que sugerían que la detección realizada a partir de ciertas pruebas de ELISA y PCR no estaba bien estandarizada; esta evidencia fue comunicada a los funcionarios gubernamentales encargados de biomonitorio desde 2002. En 2009 se publicaron en revistas científicas evidencias que sugieren que algunas técnicas de laboratorio (notablemente el PCR cuantitativo) no siempre funcionan o están mal estandarizadas para maíces nativos (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a y 2009b). Un riesgo adicional, producto de la conformación de esta red —dado que no es claro cómo se repartirá el financiamiento hacia los laboratorios que la integran, no se sabe si serán pagos por parte del Estado para realizar un servicio o si recibirán dinero de particulares que deseen investigar la presencia de transgenes en una muestra particular—, podría ocasionar que esta red se convierta en un grupo de interés económico que dependa de la existencia de cultivos transgénicos para sobrevivir. Además, en un contexto más amplio dicha red será la que se abrogue el derecho por encima de productores y consumidores de controlar sus acervos de maíz o sus alimentos en términos de la presencia o no de transgenes. Esto último es particularmente preocupante y nos lleva a plantear la urgencia de establecer métodos que permitan a los agricultores la detección primaria de transgenes y el control del monitoreo de sus acervos. En este escenario las técnicas de biomonitorio y sus resultados serán también una herramienta de las empresas para fincar demandas en contra de productores cuyos acervos sean contaminados.

Ante esta situación, México se encuentra en un escenario en donde se están haciendo esfuerzos para dotar al país de una red de laboratorios que detecten OGM a partir de diferentes materiales (alimentos, semilla, etcétera), pero que no están basando su estandarización en métodos probados como útiles para detectar transgenes en maíces nativos mexicanos, sino en estandarizaciones establecidas por entidades internacionales como la JAOAC y a partir de asesoría por parte de empresas privadas que

realizan biomonitorio, como GENETIC ID. Si bien la armonización con criterios internacionales es necesaria, en particular con aquellos criterios establecidos por organismos científicos, sin conflicto de intereses (lo cual excluye a GENETIC ID por ser un agente que tiene un interés comercial en implementar sus técnicas para posiblemente abrir ramales de su empresa en nuestro país), también es necesario corroborar la confiabilidad y reproducibilidad de estas técnicas para detectar transgenes en contextos genómicos distintos a los maíces híbridos en que fueron estandarizadas. Hasta este momento, esto no se ha llevado a cabo en México. Finalmente, es crucial que esta red provea de herramientas de fácil implementación para la atención/detección primaria de transgenes por parte de los ciudadanos en general para una gestión colectiva de la bioseguridad.

Aunada a estas dos problemáticas, existe una situación que pone en entredicho la capacidad de nuestro país para llevar a cabo esta tarea: la falta de acceso y capacidad de producción de materiales de referencia certificados como controles experimentales positivos (una línea particular de maíz u otro cultivo transgénico) y negativos (una línea, variedad o raza de maíz u otro organismo del que se tenga la certeza de que no es transgénico), así como la carencia de políticas públicas que aseguren su conservación dinámica en campo en manos de los campesinos e indígenas: la única viable a largo plazo. El contar con un centro público de materiales de referencia verdaderamente comprometido con los intereses de los agricultores y campesinos es también crucial, ya que los materiales de referencia certificados son fundamentales para garantizar la confiabilidad de los resultados de cualquiera de las técnicas de biomonitorio mencionadas, en particular de aquellas basadas en ADN. Este tema ha recibido mucha atención en entidades como la Unión Europea, donde un centro de materiales de referencia certificados ha sido implementado (Rodríguez-Lázaro *et al.*, 2007). En nuestro país carecemos de este tipo de centros, y por lo tanto somos dependientes de que otros centros internacionales nos provean de materiales o quedamos a merced de que las empresas que producen OGM estén dispuestas a proveer los materiales de referencia certificados.

Este aspecto afectará no sólo a los futuros laboratorios certificados para detección de OGM en la red, sino que ya ha afectado a laboratorios de investigación en la UNAM y el CINVESTAV, así como a miembros de diferentes organizaciones civiles que desde 2001 hicieron esfuerzos de biomonitorio (para un resumen de dichos esfuerzos y resultados obtenidos

hasta 2007, ver: Mercer y Wainbright, 2008). En el caso particular de los laboratorios de investigación, además de tener sólo un pequeño número de controles experimentales positivos y negativos, también se ha tenido que contender con el fenómeno de que varios de los *kits* comerciales de detección de OGM no están bien estandarizados. Ambas situaciones han representado no sólo una inversión adicional de esfuerzo por parte de los miembros de dichos laboratorios para obtener resultados confiables, sino también un retraso en la velocidad de obtención de resultados.

La falta de acceso a controles experimentales adecuados, y la insuficiencia o fallas de algunos *kits* comerciales de detección de transgenes, ponen de manifiesto una situación que ha afectado desde sus inicios los esfuerzos para garantizar la bioseguridad de plantas cultivadas: el restringido acceso a información fidedigna de las construcciones transgénicas y los marcadores de selección utilizados en las diferentes líneas transgénicas ya comercializadas, así como de los materiales de referencia adecuados. Lo anterior es resultado de que la mayoría de estas secuencias se encuentra protegida por derechos de patente que evitan que sean públicas o que la información disponible sobre una patente dada sea fidedigna, mientras que los materiales de referencia o controles positivos y negativos son propiedad de las empresas productoras de transgénicos que deciden de manera discrecional a quienes (en particular cuando se refiere a investigadores independientes) proveérselas. En el caso de convenios internacionales, donde dichas empresas son obligadas a proveer de información sobre las secuencias introducidas y materiales certificados de referencia a los gobiernos de diferentes países que así lo exigen con el fin de llevar a cabo biomonitoreo y análisis de riesgo de los OGM que están o serán introducidos para su producción o consumo, dichos gobiernos deben a su vez aceptar acuerdos de confidencialidad que impiden que al interior de cada país se pueda difundir esta información entre investigadores que están llevando a cabo biomonitoreo (este es el caso de CONABIO en México).

Conclusiones: medidas de bioseguridad adecuadas para proteger las razas nativas de maíz en México

En este capítulo se repasaron brevemente las técnicas de biomonitoreo utilizadas actualmente, así como sus dificultades técnicas, las dificultades técnicas de los muestreos en campo. Además, se analizó la capacidad

institucional de biomonitoreo en México en cuanto al número de laboratorios capacitados para llevar a cabo pruebas de laboratorio. Aunada a estas limitaciones existe ahora evidencia científica de que la coexistencia sin flujo genético entre maíz GM y razas nativas mexicanas es imposible de garantizar dados los siguientes aspectos (abordados en el capítulo 4 de este libro): el sistema de reproducción del maíz y la movilidad del polen y semilla de maíz, la distribución de razas nativas en el territorio nacional, la dinámica de intercambio de semillas, los esquemas de comercialización y hábitos de uso del maíz, entre otros más.

La incapacidad de los encargados de la bioseguridad del maíz (y otras especies) del gobierno mexicano ha quedado demostrada por: publicar un artículo con datos negativos (Ortiz *et al.*, 2005), a pesar de que contaban con datos positivos de las mismas localidades (ver por ejemplo, Ezcurra *et al.*, 2002). Con esto se obstaculizó la publicación de los resultados que originalmente se habían encargado a dos laboratorios independientes (UNAM y CINVESTAV), lo que implicó un retraso de 8 años en materia de bioseguridad. Para los trabajos de biomonitoreo se han recibido recursos de diversos fondos internacionales que ascienden a millones de dólares americanos. Sin embargo, hasta el momento no han hecho públicos los datos sobre sus esfuerzos de monitoreo ni tampoco sobre las fuentes de transgenes que han sido encontrados en varios acervos de los maíces nativos en campo. Con relación al Distrito Federal se publicaron resultados en los informes anuales del INE, 2007, 2008 y 2009. (Piñeyro-Nelson *et al.*, 2009a).

Es desafortunado y preocupante que, a pesar de que el gobierno ha recibido fondos internacionales considerables (GEF/PNUD) y supuestamente ha invertido “recursos propios” para generar la capacidad nacional de biomonitoreo y bioseguridad, ésta aún no existe y no se han producido los resultados deseados. Se ha perdido tiempo valioso en términos de bioseguridad y monitoreo en México, sobre todo del maíz pero también de otros cultivos como el algodón (Wegier *et al.*, 2011). Urge implementar una verdadera política pública dotada de capacidades técnicas para garantizar la bioseguridad en el caso particular del maíz y, en general, de la población, así como de los acervos de plantas de las cuales México es centro de origen y diversificación. Dicha política debe estar dirigida a impedir la contaminación de las variedades nativas con transgenes. Es necesario desarrollar una investigación de alto nivel para innovar en materia de biomonitoreo y bioseguridad.

En este contexto, podemos concluir que la prioridad nacional en materia de bioseguridad para garantizar la integridad del maíz nativo mexicano es la prohibición de la liberación de maíz transgénico a cualquier escala en México; por lo cual es indispensable echar marcha atrás en la siembra experimental y piloto en campo de cualquier línea de maíz en México. En contraste, debe priorizarse: estandarizar adecuadamente las métodos de muestreo y análisis de laboratorio, diseñar nuevos métodos que permitan un acceso democrático y transparente a sus métodos y resultados a todo ciudadano, controlar las fuentes de entrada de semilla y grano transgénico biológicamente viables a nuestro país, tanto los provenientes de las importaciones de grano de maíz para consumo, como de las semillas que vienen de países donde se cultivan OGM. Esto se vuelve fundamental en un país donde el maíz se consume masivamente y de manera constante, ya que las insuficiencias en el biomonitorio se pueden traducir no sólo en una amenaza para la conservación de la diversidad genética de los maíces nativos, sino en un problema de salud pública que se puede ver acrecentado ante la posible entrada de semillas de maíz biorreactor.

Referencias

- Bellon, M.R. and Berthaud, J., (2004). Transgenic maize and the evolution of landrace diversity in México. The importance of farmers behavior. *Plant Physiol.*, vol. 134, núm. 3.
- Ezcurra, E., A. Valiente-Banuet, O. Flores-Villela y E. Vazquez, (2001). Vulnerability to global environmental change in natural systems and rural areas: A question of latitude? En: J.X. Kasperson y R.E. Kasperson (eds.). *Global environmental risk*. United Nations University Press, Tokio, 217-246.
- Ezcurra, E., Ortiz, S., Soberon-Mainero J. 2002. Evidence of Gene Flow from Transgenic Maize to Local Varieties in Mexico. En: Roseland Craigh (ed.), *LMOS and the environment: Proceedings of an International Conference*, November 27-30, 2001, Raleigh, NC, USA. OECD, Paris, France: 289.
- Heinemann, J., Kurenbach, B., Quist, D. (2011). Molecular profiling-a tool for addressing emerging gaps in the comparative risk assessment of GMOs. *Environment International Vol. 37, No. 7*, 1285-1293.

- Kiddle, G., Hardinge, P., Buttigieg, N., Gandelman, O., Pereira, C., McElgunn, C.J., Rizzoli, M., Jackson, R., Appleton, N., Moore, C., Tisi, L.C. Murray, J. (2012). GMO detection using a bioluminescent real time reporter (BART) of loop mediated isothermal amplification (LAMP) suitable for field use. *BMC Biotechnology*, 2012, 12:15
- Lakshminarayan, M.I., Kumpatla, S.P., Chandrasekharan, M.B., Hall, T. (2000). "Transgene silencing in monocots. *Plant molecular biology*, núm. 43, 323-346.
- Louette, D. and Smale, M., (2000). Farmer's seed selection practices and traditional maize varieties in Cuzalapa, Mexico. En *Euphytica*, vol. 113, 25-41.
- Mercer, K.L. and Wainwright, J.D., (2008) Gene flow from transgenic maize to landraces in Mexico: an analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. Vol. 126, 109-115.
- Mertens, M. (2008). *Assessment of Environmental Impacts of Genetically Modified Plants*. Germany, Bundesamt für Naturschutz
- Nadal, A. *Evaluación de los efectos ambientales de Tratado de Libre Comercio en América Latina. El maíz en México*.
- National Research Council, (1989) *Field testing genetically modified organisms: framework for decisions*. National Academy Press, Washington D.C. USA.
- Nature Editorial. (2010). How to feed a hungry World. *Nature*, vol. 466 No. 7306, 531.
- Ortiz-García, S., Ezcurra, E., Schoel, B., Acevedo, F., Soberón, J., Snow, A., (2005) Absence of detectable transgenes in local landraces of maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004), En *PNAS*, vol. 102, núm. 35, 12338-12343.
- Piñeyro-Nelson, A., van Heerwaarden, J., Perales, H., Serratos, J., Rangel, A., Hufford, M., Gepts, P., Garay-Arroyo, A., Rivera-Bustamante, R., Álvarez-Buylla, E.R. (2009^a). Transgenes in Mexican maize: molecular evidence and methodological considerations for GMO detection in landrace populations. *Molecular Ecology*, vol. 18, núm. 4, 750-761.
- 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. and Álvarez-Buylla, E.R. (2009^b). Resolution of the mexican transgene detection controversy: Error sources and scientific practice in commercial and ecological contexts. *Molecular Ecology* 18, 4145-4150

- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2011). *Convenio sobre la Diversidad Biológica. "Orientaciones para la evaluación del riesgo de los organismos vivos modificados.*
- Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2012). *Convenio sobre la Diversidad Biológica. "Third meeting of the Ad hoc Technical Expert Group on Risk Assessment and Risk Management of Living Modified Organisms (BSRARM 3)".* <http://bch.cbd.int/protocol/meetings/documents.shtml?eventid=4736>.
- Quirasco, M., Schoel, B., Chhaliyil, P., Fagan, J. and Galvez, A., (2008). Real-time and conventional PCR detection of Liberty Link® rice varieties and transgenic soy in rice sampled in the Mexican and American retail markets. *Anal Bioanal Chem*, vol. 392, 395-404.
- Quist, D., Chapela, I., (2001). Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico. *Nature*, vol. 414, 541-543.
- Rissler J., Mellon M., (1993) Perils amidst the promise. Union of Concerned Scientists, Cambridge Mass. USA.
- Rissler J., Mellon M. (1996) The Ecological Risks Of Engineered Crops. MIT Press, Cambridge Mass. USA.
- Rodríguez-Lázaro, D., Lombard, B., Smith, H., Rzezutka, A., D'Agostino, M., Helmuth, R., Schroeter, A., Malorny, B., Miko, A., Guerra, B., Davison, J., Kobilinsky, A., Hernández, M., Bertheau, Y., Cook, N. (2007). Trends in analytical methodology in food safety and quality: monitoring microorganisms and genetically modified organisms. *Trends in Food Science and Technology*, vol. 18, núm. 6, 306-319.
- Rojas Villegas, S.E. (2011). *Informe de actividades 2011 y retos 2012.* Centro Nacional de Referencia en Detección de Organismos Genéticamente modificados (CNRDOGM).
- Serratos-Hernández JA, Gómez-Olivares JL, Salinas-Arreortua N, Bueñúa-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, 247-252.
- Snow, A., (2009). Unwanted Transgenes Re-Discovered in Oaxacan Maize. *Molecular Ecology*, vol. 18, núm. 4, 569-571.
- Tiedje J.M., R.K. Colwell, Y.L. Grossman, R. Hodson, R.E. Lenski, R.N. Mack, P.J. Regal, (1989) The planned introduction of genetically modified organisms: Ecological considerations and recommendations. *Ecology* 70: 298-315.

Tripathi, L., (2005). Techniques for detecting genetically modified crops and products. *African Journal of Biotechnology*, vol. 4, núm. 13, 1472-1479.



CAPÍTULO 14
UNA VISIÓN NO OFICIAL DE LA LEY DE SEMILLAS Y
LEY FEDERAL DE VARIEDADES VEGETALES,
A QUIÉN AYUDA, A QUIÉN PROTEGE



*Alejandro Espinosa Calderón, Antonio Turrent Fernández,
Margarita Tadeo Robledo, Adelita San Vicente Tello, Noel Gómez
Montiel, Mauro Sierra Macías, Artemio Palafox Caballero,
Roberto Valdivia Bernal, Flavio A. Rodríguez Montalvo,
Benjamín Zamudio González y Pablo Andrés Meza*

Introducción

El uso de semillas nativas y mejoradas es altamente estratégico en todos los países, y la posibilidad para elevar la producción en los diversos cultivos en buena medida depende de tener claridad en este tema. El entorno que establece el sistema de semillas de cada país, si es el caso, favorece, ordena y regula el uso de semillas. En México, durante los últimos años ocurrieron modificaciones al marco legal que han influido para la situación que actualmente se vive en el campo mexicano. Estos cambios acentúan aún más la distorsión y desequilibrio en la producción y abastecimiento de semillas, con excesiva concentración en unas cuantas empresas privadas del control de este insumo fundamental en la estrategia agrícola del país.

La Ley de Semillas (1991) que permitió a otros solicitantes el acceso a las variedades generadas por el INIFAP —además de la PRONASE y la Ley de Variedades Vegetales (1996), así como sus reglamentos correspondientes, además de la incorporación de México a la Unión

para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV) en 1997, en el Acta UPOV de 1978 (que otorga protección *sui generis* a las variedades, pero mantiene el derecho del agricultor), influyeron para que en México, en forma rápida, las empresas privadas controlaran el comercio de semillas paralelamente con las limitaciones que se impusieron a la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) para que no pudiese competir (Espinoza *et al.*, 2012).

En el año 2006, con la participación de investigadores de diferentes instituciones (INIFAP, CP, UACH, UAAAN, UNAM, etc.), organizaciones de productores, como ANEC, así como algunos Diputados, se propuso una Ley de Semillas que promovía el abastecimiento y promoción de semillas nacionales nativas y mejoradas, la cual fue aprobada en el pleno de la Cámara de Diputados por una abrumadora mayoría de legisladores. Sin embargo, por la participación probablemente de las grandes empresas de semillas, no fue ratificada en el Senado de la República y, previendo que se aprobaría una versión muy diferente ajena a la protección de los productores, se optó por suspenderla hasta que en la siguiente legislatura fue aprobada una nueva minuta, completamente diferente y cabildeada por las empresas privadas. De esta manera, el 15 de junio de 2007, con la publicación en el Diario Oficial de la Federación (DOF) de la nueva “Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas”, que abroga la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas, publicada en el DOF el 15 de julio de 1991, se incrementa el control del comercio de semillas por unas cuantas empresas y propicia desabasto en grandes superficies.

Adicionalmente a la Ley de Semillas, y en paralelo a la presión para que se autoricen las siembras comerciales de maíz transgénico en México, se hacen intentos para que se apruebe una nueva Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV), que derogue la vigente y así ubicar a México en el Acta UPOV 91, que conviene jurídicamente a las corporaciones multinacionales dueñas de los transgénicos, ya que sería la situación legal ideal para despojar de las variedades nativas a los productores, sus dueños milenarios, en caso que estas variedades sufrieran contaminaciones con transgénicos, que estarían patentados con la nueva LFVV, lo que no podría ocurrir con el Acta UPOV 78, en la cual está ubicado México, ya que no patenta los eventos transgénicos.

En este trabajo se presenta el proceso y los eventos que han ocurrido en México en torno a las Leyes de Semillas y la Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV) y su relación con la producción y comercio

y abastecimiento de semillas en el país, así como la presión y urgencia de las corporaciones por colocar a México en el marco jurídico que les conviene, ante la eventual autorización para siembras comerciales de maíz transgénico y el apoderamiento de las variedades nativas y mejoradas nacionales, en ese marco de UPOV 91, en caso que se contaminen estas variedades nacionales por eventos patentados.

Las Leyes de Semillas en México

La primera Ley de Semillas en el país data de 1961, y en ella se señalaba la participación de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE), que recibía la semilla original de todas las variedades e híbridos desarrollados y liberados comercialmente por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA), ahora INIFAP, es decir, cada nueva variedad pasaba directamente a la entidad paraestatal productora de semillas para ser multiplicada y puesta a disposición de los productores agrícolas mexicanos. Por su parte al Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS) le correspondía la responsabilidad de vigilar el proceso de inspección y certificación de semillas (Luna *et al.*, 2012).

La participación del sector privado en la industria de semilla ha cambiado radicalmente en los últimos años; en 1970 su participación en la venta de semilla de maíz era de aproximadamente 13%, mientras que en 1993 fue de 90%, y se estima que en 2002 se incrementó hasta 96%. La PRONASE se reestructuró, pero de una participación de aproximadamente 45% en el comercio de semilla de maíz y otros cultivos a nivel nacional, se redimensionó al parecer atendiendo sugerencias internacionales del Banco Mundial y la propia FAO para que se cancelara este tipo de instituciones, lo que dio como resultado su cierre definitivo con la promulgación de la Ley de Semillas en junio de 2007. La propia FAO reconoce este error en su comunicado 11/19 de marzo de 2011, en el cual admite que se equivocó al considerar que las empresas de semillas abastecerían de este insumo a los productores en los diferentes países y, 20 años después, recomienda que debe promoverse el autoabastecimiento por los propios productores y pequeñas empresas en áreas de bajo potencial productivo y tradicionales donde no se interesan las grandes corporaciones de semillas (Espinosa *et al.*, 2012).

A principios de la década de 1990, para adecuarse a las políticas de la globalización comercial, el gobierno de México hizo una serie de

cambios en la legislación que afectaron directamente al sector agrícola. Así, la nueva Ley de Semillas, permitió la participación sin restricciones al sector privado en la investigación agrícola, particularmente en la producción y comercialización de semillas (DOF, 1991). Además, se abrió la posibilidad de que otros usuarios multiplicaran y comercializaran semilla de variedades generadas por instituciones públicas, como las del INIFAP, además de la PRONASE. Con esta Ley y la Ley Federal de Variedades Vegetales de 1996 (DOF, 1996), se permitió la participación de la iniciativa privada que, aunado a políticas de inversión del sector público y presiones de organismos internacionales señalados, originó que paulatinamente ocurriera el desmantelamiento de la PRONASE (Luna *et al.*, 2012).

El cierre de la PRONASE, formalizado con la “Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas” el 15 de junio de 2007 (DOF, 2007), propició un escenario aún más difícil y un aumento del comercio por parte de las grandes corporaciones. La nueva Ley posee modificaciones que propician un escenario especialmente grave, aumentando el control de las semillas con la intención de regular incluso las variedades nativas, lo que es un exceso en este tipo de semillas manejadas milenariamente por sus poseedores. La extinción de la PRONASE, virtualmente desde el año 2000, y efectivamente en 2007, provocó la mayor crisis histórica en la escasa posición de difusión de semillas del INIFAP en el campo mexicano (12%), con respecto al 88% del control de las corporaciones como señaló el Director de INIFAP en su presentación en el Senado de la República en el año 2011. En el cuadro siguiente, que mostró el Director de INIFAP a los Senadores, se observa la concentración del comercio de semillas de maíz, con énfasis en Monsanto y Pioneer; sin embargo, la participación de los materiales del INIFAP puede considerarse un logro importante, ya que ocurre por la iniciativa de investigadores, con muy pocos recursos, escaso apoyo y frecuentemente con la oposición de las propias autoridades del INIFAP y la SAGARPA. En los últimos años pareciera que se intenta devaluar la investigación en maíz, el cultivo más importante del país, y al INIFAP. Probablemente con la intención de sobrevaluar el desempeño del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT), se señala que en trigo sus variedades se emplean en el 97% de la superficie sembrada con semilla calificada en México, y sólo 11.4% del INIFAP. Lo que no se señala es que en el trigo no hay interés de Monsanto y Pioneer, tampoco de otras corporaciones, por desarrollar variedades mejoradas, ya que no es negocio como ocurre con el maíz, además de que la actividad en

trigo es completamente respaldada por el CIMMYT desde hace décadas. Seguramente esto es promovido por el director del INIFAP para que ocurra lo mismo en maíz y mostrar que no es relevante la actividad del INIFAP en este cultivo, al grado de que puede ser sustituido por la actividad de MasAgro.

Comercialización de semilla de maíz por obtentor
(junio de 2010)

Obtentor	Empresas	Híbridos (ton)	Variedades (ton)	Total (ton)
Monsanto	10	24,937		24,937
INIFAP	32	1,573	2,099	3,672
PHI DE México SA DE CV	3	2,800		2,800
Sem. Conlee Méx., S.A.	1	292		292
Agrícola Nuevo Sendero	1	265		265
CERES Intern.	1	120		120
ICAMEX	1	50		50
COLPOS	2		48	48
Reproducción GEN avanzada	1		4	4
Semillas casas grandes	1	2		2
PROGENETIC	1	1		1
	54	30,040	2,151	32,191

INIFAP, 11.4 % de la semilla Calificada de maíz en el país.
817 variedades CNVV (61% Monsanto y Pioneer); 13% INIFAP.
SNICS, Base de datos, junio 2009. Presentación de Pedro Brajcich,
Cámara de Senadores, 16 de junio de 2011.

El Gobierno de México, por recomendación del Banco Mundial, inició la restructuración de la PRONASE y paulatinamente ejecutó su reducción, hasta lograr que al iniciar el sexenio de Vicente Fox su actividad se redujera a una mínima expresión. El cierre de PRONASE representa un daño terrible a los productores, ya que no se ofrecen variedades de polinización libre de maíz, pero además se canceló el abasto de semilla de arroz, frijol, trigo, avena y variedades de cultivos similares que atendía la Productora con sentido social. En cultivos como maíz se propició

el dominio de corporaciones, ofreciendo híbridos para riego y buen temporal, y por la ausencia y desinterés por las zonas de agricultura tradicional. Una muestra de la forma desventajosa como se comercializa semilla de maíz en México es que en Estados Unidos, 1 000 semillas de maíz tienen precio de 1.34 dólares, en cambio semillas similares en México se comercializan en 2.71 pesos por kilogramo. Aunado a lo anterior y a la crisis de importación de maíz por escasa producción, entraron en escena corporaciones como Monsanto y otras transnacionales, que ofrecen promesas inalcanzables como las de elevar el rendimiento medio de maíz en México a 6 t ha⁻¹, con la autorización de los transgénicos, además se ofrece reducir el uso de fertilizantes, control de plagas y malezas y variedades tolerantes a sequía (nueva quimera), sin posibilidad real de cumplir cada uno de los aspectos anteriores.

Ejemplos claros de la distorsión del sistema de comercio de semillas son los casos del frijol y el arroz, ya que ambos cultivos básicos para el país han sido notablemente desatendidos en el mercado de semillas sin regulación. Esto es también grave porque no ha habido progreso, pues en el caso del frijol se había alcanzado un 9% de uso de semillas mejoradas, mientras que en el arroz la situación se caracteriza por el derrumbe de un 90% de atención del mercado de semilla a menos de 10% en la actualidad.

Una de las diferencias entre la Ley de Semillas de 2007 y la anterior, de julio de 1991, es que el ámbito de la actual ley incluye todas las variedades mejoradas y nativas. Toda variedad vegetal debe ser inscrita en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) para ser calificada y puesta su semilla en comercio y circulación. Para la inscripción de una variedad en el CNVV ésta debe estar descrita conforme a la Guía Técnica de Maíz. Toda semilla mejorada o nativa para ser comercializada debe llevar una etiqueta con datos de denominación de la variedad, identificación de la categoría de semilla (Original, Básica, Registrada, Certificada, Habilitada, Declarada). Quien ponga en circulación semilla que no cumpla con el artículo 33 de la Ley Incurrirá en infracciones y sanciones, lo que ubica en una situación complicada a los productores que tradicionalmente intercambian o comercializan semilla nativa de maíz en México. Las infracciones y sanciones seguramente limitarán el intercambio de semillas entre productores, propiciando una reducción grave de la diversidad genética de las razas de maíz nativo.

Los sistemas de semillas en cada país están relacionados con el correspondiente marco legal, que establece los esquemas y estrategias

de abastecimiento que regulan un adecuado uso de semillas. La promoción, utilización y tipo de semillas que utiliza un agricultor para la siembra tiene repercusión en la producción de grano, y en buena medida depende de esta decisión la posibilidad de elevar la producción en los diversos cultivos (Turrent y Espinosa, 2006; Espinosa *et al.*, 2012 b).

En México, las modificaciones al marco legal han influido para propiciar la distorsión del sistema de semillas: la primera Ley de Semillas fue establecida en 1961, posteriormente se promulgo La Ley de Semillas de 1991 y la Ley Federal de Variedades Vegetales en 1996 (DOF, 1996), así como sus reglamentos correspondientes. México se incorporó a la Unión para la Protección de Obtenciones Vegetales (UPOV) en 1997 (Espinosa *et al.*, 2003 b). La “Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas”, publicada el 15 de junio de 2007 (DOF, 2007), deroga la anterior Ley publicada en el DOF el 15 de julio de 1991 y podría tener un mayor impacto sobre el Sistema de Semillas en el país (Espinosa *et al.*, 2007).

La nueva Ley posee artículos y apartados que probablemente limitarán el intercambio de semillas entre productores, propiciarán reducción grave en la diversidad genética de las razas de maíz nativo, pero también se favorecerá el fortalecimiento de las grandes empresas. Entre sus consecuencias hay posibilidades reales de acciones punitivas contra productores locales de maíz nativo y empresas de semilla en baja escala que comercian e intercambian semilla en forma local (Espinosa *et al.*, 2007).

Lo que ocurre en México hoy contrasta con los fines de las legislaciones de otros países. La “Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas”, del 15 de junio de 2007, establece como ámbito la regulación de la producción de semillas certificadas, la calificación de semillas, la comercialización y puesta en circulación de semillas de todas las variedades vegetales incluyendo mejoradas y nativas.

Antecedentes de variedades mejoradas en México

Desde 1942, los organismos antecesores del INIFAP ofrecieron variedades mejoradas de diferentes cultivos a los agricultores mexicanos, las cuales representaron en su momento opciones de mayores ingresos, menor costo y tolerancia a enfermedades y a factores limitantes de la producción (Espinosa *et al.*, 2004). La producción de maíz en México se ha

incrementado, principalmente, por los aumentos en la productividad. En los años cincuenta, el rendimiento medio ascendió desde 800 kg hasta 2.4 t ha⁻¹, con una tasa de crecimiento anual de 2.4%, (Sánchez, *et al.*, 1998). El uso de semilla mejorada se ha incrementado sobre todo con la participación de Sinaloa y otras áreas de riego en el país, ubicándose como las principales áreas productoras de maíz en México, con rendimientos de 9 y hasta 12 t ha⁻¹, que contrastan con rendimientos 0.3 a 0.5 t ha⁻¹ en zonas marginales (Espinosa *et al.*, 2008).

Hasta antes de la nueva Ley era requisito indispensable para tener acceso a la certificación de estos materiales que fuesen variedades mejoradas y estuvieran inscritas. Para el caso de programas de Alianza para el Campo como Kilo por Kilo, en años anteriores o bien programas similares, sólo podían participar semillas certificadas de variedades recomendadas (Espinosa *et al.*, 2003 a).

Con la Ley de Semillas de 1991 las empresas privadas de semillas incrementaron su participación, concentrándose en las áreas de riego y muy buen temporal. De 1996 a 2000, a través del programa Kilo Por Kilo, el Gobierno Mexicano trató de elevar el uso de semilla certificada (Espinosa *et al.*, 2000). En forma incomprensible se limitó a PRONASE su participación en Kilo por Kilo. Con el retiro de la PRONASE fue evidente que el mayor perjudicado con esta decisión fue el propio INIFAP, ya que sus materiales no tuvieron la salida natural para promover su uso extensivo en campos de agricultores. Lejos de adoptar medidas urgentes para encontrar las estrategias alternativas de abasto de semillas, que remplazaran la ausencia de PRONASE, con esquemas de organizaciones de productores en empresas locales en baja y mediana escala, con surtimiento de semilla básica y registrada por parte del INIFAP, para cubrir los espacios que habían quedado sin atención (Espinosa *et al.*, 2003 b), se implementó una política que limitó programas de semillas, no se apoyó al maíz en la SAGARPA, tampoco la producción de semillas en el propio INIFAP, al grado que desde el año 2000 y hasta 2013 no existe un programa de semillas en el propio instituto. Como consecuencia, los resultados de 2001 a 2013 en adopción de semillas del INIFAP son los más bajos históricamente, con un posicionamiento pobre de los materiales del instituto, llegando a niveles críticos. La promoción de microempresas de semillas llevada a cabo por investigadores del propio INIFAP como alternativa ha dado resultados en algunas regiones (González *et al.*, 2008). En cambio, la semilla de los cultivos de polinización libre no requiere ser comprada en cada ciclo, por lo que no representan

oportunidades de ganancia tan obvia (Turrent y Espinosa, 2006; Valdivia *et al.*, 2007).

Con la “Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas” (2007), en México se modificaron las definiciones y las categorías de semillas; si bien se mantienen las categorías Básica, Registrada y Certificada, se agregaron las categorías de semilla Habilitada y Declarada, la definición de semilla original se modificó sustancialmente, lo que propicia complicaciones, ya que se abandonó la esencia que indicaba que es la semilla del mejorador, mientras permanezca en manos de quien o quienes la formaron (Espinosa *et al.*, 2007).

En la anterior ley se había incorporado en la definición la repetición de categoría, permitiéndose señalar en la categoría registrada que tal semilla por definición es la que “procede de la semilla básica o la propia registrada”; ahora la repetición de categoría se permite también en la semilla básica, definiéndose como semilla básica a la que procede de la semilla original o la propia semilla básica.

En la mayoría de los países, las categorías de semilla se limitan como máximo a cuatro niveles de reproducción, por ello la definición de semilla básica y registrada da entrada legal, sin especificar el límite, a la repetición de categoría, lo que significa que la semilla básica y registrada puede dar origen a innumerables generaciones de semilla básica y registrada. El riesgo radica en que si se presenta una contaminación en una generación de incremento, esta planta incrementa su frecuencia y número de plantas fuera de tipo y contaminantes en forma exponencial con cada generación de multiplicación, por lo cual en poco tiempo se pierde la identidad varietal.

En un intento por el control total de las semillas, se somete al ámbito de la Ley a todas las semillas (nativas y mejoradas), lo que es un exceso, ya que antes la ley sólo tenía bajo su dominio las variedades mejoradas. En el proceso de inspección y certificación, se modificó el concepto de Semilla Certificada, por la “Semilla Calificada: Aquella cuyas características de calidad han sido calificadas por la Secretaría o por un organismo de certificación acreditado y aprobado para tal efecto, mediante el procedimiento a que se refiere esta Ley (DOF, 15 de junio, 2007). La semilla calificada se clasifica en las categorías Básica, Registrada, Certificada y Habilitada”.

La ley define “Semilla Categoría Habilitada: Aquella cuyo proceso de propagación o producción no ha sido verificado o habiéndolo sido, no cumple totalmente con alguna de las características de calidad gené-

tica, física, fisiológica o fitosanitaria”. Esta semilla, independientemente de que le falte alguna característica, es lógico que será comercializada como habilitada.

Toda la semilla que se pretenda comercializar y no se ubique en alguna de las categorías será considerada como semilla declarada, a la letra la ley dice “Semilla Categoría Declarada: Categoría de semilla comprendida en la fracción IX de este artículo, sus características de calidad no son calificadas por la Secretaría ni por un organismo de certificación acreditado y aprobado para tal efecto, son informadas directamente por el productor o comercializador en la etiqueta a que se refiere el artículo 33 del presente ordenamiento”. Lo anterior pretende controlar toda la semilla que se maneja en México, lo que abre la puerta también a las sanciones, como desearían las grandes empresas de semillas y que podría limitarse a empresas sin escrúpulos que pintan grano y lo venden como semilla; sin embargo como ocurre frecuentemente en México, muy probablemente las sanciones se orientarán hacia los pequeños productores (Espinosa *et al.*, 2007).

Cabría preguntar: ¿cómo se logrará el control de la totalidad de las semillas que se utilizan en México?. Ya que el SNICS cuenta con escaso personal y pocos recursos económicos de la Federación para la calificación, una fracción importante de sus recursos adicionales proceden de los pagos que hacen empresas por la propia calificación de semilla. Con la nueva Ley de Semillas no es indispensable que una variedad sea mejorada para que sea incorporada al CNVV; el requisito para estar ahí es que cuente con la caracterización con base en la Guía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz. Esto significa que cualquier maíz nativo, local o criollo, cuya semilla se multiplique, debe incorporarse al proceso de calificación en la producción de semilla, contando con las categorías ya señaladas, con la consecuente contradicción de que la semilla original sería, en los casos de materiales nativos, semilla que no es producto de algún método de mejoramiento genético.

Llama la atención lo que se refiere al comercio de semillas en el “Artículo 33.- Para que cualquier semilla de origen nacional o extranjero, pueda ser comercializada o puesta en circulación, deberá llevar en el envase una etiqueta a la vista que incluya los siguientes datos informativos:

I. El nombre del cultivo; II. Género y especie vegetal; III. Denominación de la variedad vegetal; IV. Identificación de la categoría de semilla, de conformidad con lo dispuesto en esta Ley; V. Cuando aplique, el porcentaje de germinación y en su caso, el contenido de semillas de

otras variedades y especies así como el de impurezas o materia inerte; VI. En su caso, la mención y descripción del tratamiento químico que se le haya aplicado a la semilla, debiendo en este supuesto, estar teñida para advertir sobre su improcedencia para efectos de alimentación humana y animal; VII. Nombre o razón social del productor o responsable de la semilla y su domicilio; VIII. Número de lote que permita dar seguimiento o rastreo al origen y calidad de la misma”.

Lo anterior significa que la semilla Certificada, habilitada, declarada (es decir cualquier semilla nativa o mejorada) debe indispensablemente cumplir con el Artículo 33, en cuya ausencia, campesinos que intercambien o comercien semilla de maíces nativos, serían sujetos de sanciones que marca la Ley.

Al revisar lo relacionado con “CAPÍTULO IX DE LAS INFRACCIONES Y SANCIONES”, conviene analizar las siguientes partes: “Artículo 38.- Incurrir en infracción administrativa a las disposiciones de esta Ley, la persona que: I. Comercialice o ponga en circulación cualquier categoría de semillas sin cumplir con lo dispuesto en el artículo 33 de esta Ley; III. Comercialice o ponga en circulación semilla o material de propagación que careciendo del plaguicida necesario, se le haya agregado colorante, con lo que induzca o pueda inducirse a error, confusión o una falsa apreciación de sus características; IV. Comercialice o ponga en circulación semillas que no cumplen con el procedimiento de calificación establecido en esta Ley, en las Normas Mexicanas y en las Reglas correspondientes; V. Difunda información falsa o que se preste a confusión respecto de las características de las semillas”.

En adelante podrá ser sancionado quien trate de comercializar cualquier semilla, nativa, generación avanzada de variedades mejoradas, maíces no convencionales, que no cumplan con el artículo 33, lo que constituye un exceso, ya que 75% de la semilla que se siembra en México es diferente al proceso que regula la Ley, lo más grave aún es que las sanciones señalan:

“Artículo 39.- Los actos u omisiones contrarios a esta Ley y demás disposiciones que de ella deriven, serán sancionados por la Secretaría a través del SNICS con una o más de las siguientes sanciones: I. Multa de doscientos cincuenta a diez mil días de salario; por salario se entenderá el salario mínimo general vigente en el Distrito Federal en el momento en que se cometa la infracción; II. Clausura temporal o definitiva, parcial o total, de los lugares o instalaciones en las que se hayan cometido las infracciones; III. El decomiso de los instrumentos, semillas o productos

relacionados directamente con la comisión de las infracciones; y IV. La suspensión o revocación de los certificados, aprobaciones y autorizaciones correspondientes”.

“Artículo 40.- El SNICS, al imponer una sanción, la fundará y motivará tomando en cuenta los siguientes elementos: I. La gravedad que la infracción implique en relación con el comercio de semillas o la prestación de servicios, así como el perjuicio causado; II. El daño causado; III. Las condiciones económicas del infractor; IV. La reincidencia si la hubiere; se considera reincidente al infractor que incurra más de una vez en conductas que impliquen infracciones a un mismo precepto, durante un periodo de tres años, contados a partir de la fecha en que la Secretaría determine mediante una resolución definitiva la comisión de la primera infracción, y siempre que ésta no hubiese sido desvirtuada; V. El carácter intencional o negligente de la conducta infractora; y VI. El beneficio directamente obtenido por el infractor”.

En resumen, las sanciones son extremadamente punitivas; la preocupación es que ahora las grandes empresas tienen a la mano la instrumentación lista y la ley acorde para ejercer acciones cuando así lo consideren y contra quienes puedan afectar los intereses de su situación monopólica actual en el comercio de semillas.

En contraparte, no se señalan infracciones por difundir, aun cuando fuese de forma involuntaria, la incidencia de enfermedades, es decir propiciar la presencia de inóculos que perjudiquen a los agricultores de maíz, afectando regiones, como ocurre con el hongo *Sphaceloteca Reiliana* (Khuen Clinton), que es el causante del carbón de la espiga, enfermedad que incrementa su presencia en los Valles Altos por el tipo de germoplasma que se ha introducido en tal región, donde antes no se presentaba la enfermedad (Espinosa *et al.*, 2007).

En resumen, puede señalarse que la Ley de Semillas:

- a) incrementa fallas del mercado de semillas de México; b) apoya a las grandes corporaciones; c) establece sanciones punitivas para quienes usan semilla pintada; d) pretende controlar producción y comercio de semilla de todas las variedades (mejoradas y/o criollas (nativas)); e) autoriza repetición de categorías (Básica y Registrada); f) exige inscripción de todas las variedades en el CNVV, lo que es complicado; g) protege con énfasis el desarrollo de corporaciones; y h) presenta graves desventajas para pequeños productores.

Ante la nueva Ley de semillas, la situación es complicada. La Ley indudablemente abre los espacios jurídicos para fortalecer de manera privilegiada el comercio de semillas por parte de empresas con alta inversión de capital y el posicionamiento de las grandes corporaciones, que es elevado, se incrementa ya que el comercio de las semillas está en manos de ellas y pareciera que la ley fortalece esta situación. Una opción para revertir esta situación es tratar de aprovechar los elementos en la propia Ley de Semillas para reposicionar las variedades mejoradas producto de la investigación pública. Constantemente se desarrollan nuevas variedades mejoradas en instituciones como INIFAP, UACH, UNAM, UAAAN, CP, UDG, etc., que pueden apoyar la difusión extensiva, permitiendo elevar la producción y la productividad por las características agronómicas favorables de los materiales generados (Cereceres *et al.*, 2007). Además de ser competitivas en rendimiento, se han liberado nuevos híbridos y variedades en todo el país (Espinosa *et al.*, 2008; González *et al.*, 2008).

Es clara la tendencia de agricultores que manejan mayor superficie y condiciones de riego o favorables al uso de semilla de híbridos; sin embargo, en México existen 2.5 millones de agricultores con parcelas pequeñas de maíz. Para estas unidades deben plantearse alternativas de abasto y uso de semilla (Turrent y Espinosa, 2006; Espinosa *et al.*, 2008). Por ello es indispensable fortalecer esquemas de abasto de semillas mejoradas y nativas alternativos, incluyendo esquemas no convencionales (Espinosa *et al.*, 1997). Existen distintas organizaciones de productores, federaciones de productores, fundaciones y gobiernos estatales, así como universidades, con quienes se puede impulsar el aprovisionamiento de semilla de calidad de variedades disponibles a través de empresas en baja escala (Hernández *et al.*, 2004). Las instituciones públicas, como el INIFAP y las universidades, pueden establecer alianzas con organizaciones como la Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras de Productores del Campo (ANEC) para promover el desarrollo organizado de empresas de semillas a baja escala, con asesoría técnica, para la multiplicación, inspección y difusión, con el apoyo de estas organizaciones de agricultores, para integrar un esquema formal que ofrezca semilla calificada a precios razonables en alianza con INIFAP y otras instituciones públicas de investigación (Espinosa *et al.*, 2007; Espinosa *et al.*, 2009).

El uso de híbridos normalmente requiere la compra de semilla todos los años, ya que el uso de generaciones avanzadas de esos híbridos implica el riesgo de reducciones en los rendimientos (Gaytán *et al.*, 2009; Espinosa *et al.*, 2012). La participación del INIFAP, de universidades y

organizaciones es fundamental, poniendo particular atención a la producción de semillas básicas y registradas para propiciar el uso extensivo de los materiales nativos sobresalientes en rendimiento, mejorados y altamente competitivos, con buenas características agronómicas, tolerancia al acame y las enfermedades, ciclo vegetativo más corto y factibles de mecanizarse (Cereceres *et al.*, 2007).

La Ley Federal de Variedades Vegetales y Acta UPOV 1991

Como se ha señalado, a principios del año 2012 se aprobó en el Senado de la Republica una propuesta de minuta de nueva “Ley Federal de Variedades Vegetales (LFVV)”, este dictamen también se aprobó en la Comisión de Agricultura y Ganadería de la LXI Legislatura en la Gaceta Parlamentaria del 12 de abril de 2012. En ese mismo mes el dictamen fue incorporado en el orden del día para ser votado en el pleno de la Cámara de Diputados, alertados sobre la gravedad del contenido de la nueva LFVV, que claramente pretendía en sus artículos pasar a México al Acta UPOV 91, con la intención de que se pudieran patentar variedades y genes, así como prohibir la derivación esencial de las variedades, afectando el derecho de los agricultores.

Representantes de organizaciones científicas, campesinas, de derechos humanos y ambientales, sociedad civil, así como ciudadanos libres de conflicto de intereses solicitaron fuesen escuchados los argumentos y preocupaciones por el interés nacional que representaba esa minuta y los riesgos que implicaban para México que el dictamen se aprobara. La Comisión de Agricultura, después de acaloradas discusiones, aceptó el 26 de abril de 2012 que la minuta de ley debía bajarse del pleno y orden del día, así como que se promoviera un debate amplio en el sector de semillas, investigación y productores afectados en México, lo que está pendiente aún. Cabe aclarar que esta propuesta de LFVV no fue cancelada, sólo fue suspendida y es muy probable que haya nuevos intentos por aprobarla en la nueva legislatura.

La aprobación eventual de la modificación a la LFVV, así como el permiso para la siembra de maíz transgénico a escala comercial en el norte del país, tendrá profundas implicaciones en el cultivo de maíz en México, que no serán para el bien de la nación. En el plazo corto, desaparecerán las medianas y pequeñas empresas productoras y comercializadoras de maíces mejorados no transgénicos —híbridos y

variedades públicas en su inmensa mayoría— en esa región. La razón es que, al convivir en el campo, con las siembras comerciales de maíz transgénico, será imposible impedir la contaminación no deseada de sus líneas parentales. Ante la ley su semilla sería considerada “pirata”. El pago de regalías a la industria las haría quebrar. Desaparecería el maíz mejorado no transgénico de esa región de México porque el puñado de empresas multinacionales de semilla es el mismo que busca introducir el maíz transgénico. La contaminación transgénica consumará el monopolio de la industria en el mercado de semilla, sin ganancia alguna para la seguridad alimentaria nacional (Turrent *et al.*, 2012).

En el largo plazo, el reservorio genético de maíz nativo mexicano será afectado de dos maneras por lo menos: 1) por la acumulación progresiva e irreversible de ADN transgénico en las razas nativas, cuyo estudio ha sido propuesto desde 2009 sin conseguirse financiamiento público (Turrent *et al.*, 2009 a; Turrent *et al.*, 2009 b); tal contaminación reducirá la biodiversidad genética del maíz nativo y de sus parientes silvestres; y 2) cualquier semilla contaminada, nativa o no, se considerará semilla pirata. Esto equivaldría a despojar, mediante la ley, a los 62 pueblos indígenas de México de su mayordomía del principal reservorio genético de maíz del mundo. Mientras más rápido avance la contaminación de las razas nativas de maíz, más rápido ocurrirá el despojo. No se puede negar que la contaminación de los maíces nativos de México conviene a la industria de los transgénicos porque favorecería su capitalización y la consolidación irreversible de su monopolio. Tampoco se puede negar que esta contaminación pondría en riesgo la Cruzada contra el Hambre.

La aprobación de la minuta tendrá serias deficiencias de fondo y de procedimiento: su contenido contraviene derechos reconocidos en la Carta Magna y en los tratados internacionales en derechos humanos, en cuanto al uso y acceso a recursos fitogenéticos y los derechos de los agricultores. Ni en el Senado ni en la Cámara de Diputados se realizó consulta obligada previa e informada a los pueblos indígenas y comunidades campesinas, donde tiene repercusión la ley. La LFFV implica graves afectaciones a las prácticas milenarias y consuetudinarias de los indígenas y campesinos de producir y usar semillas de sus propias parcelas e intercambiarlas libremente. La LFFV fortalece el patentar las variedades y sus semillas al reducir los derechos del agricultor y proteger en exceso al obtentor. Destaca la introducción del Artículo 5 Bis que elimina los mínimos derechos que considera la actual ley para los agricultores: “Se requerirá autorización expresa del obtentor, respecto

de la propia variedad vegetal protegida y su material de propagación, o de una variedad esencialmente derivada para los siguientes actos: I.- La producción o reproducción con fines de comercialización; II.- La preparación a los fines de la reproducción o de la multiplicación; III.- La oferta en venta. IV.- La venta o cualquier otra forma de comercialización; V.- La exportación; VI.- La importación; VII.- El uso repetido de la nueva variedad para la producción comercial de otra variedad, y VIII.- La comercialización de productos de la variedad, cuando el obtentor no haya podido ejercer razonablemente su derecho respecto de ésta”.

La LFFV atiende exigencias de intereses privados y el TLCAN. El dictamen incorporaría a México en el Acta de 1991, como ya ocurrió en Colombia y Chile y como se intenta en Argentina y Costa Rica. El Acta de 1978 mantiene en cambio el “Privilegio del Campesino y el Derecho del Fitomejorador”.

La LFFV tiene repercusión en México y en la actividad de todos los agricultores, incluyendo a los pueblos indígenas, quienes hacen mejoramiento genético autóctono, las instituciones públicas y universidades que efectúan mejoramiento de variedades; por ello conviene que el tema esté vigente, ya que no está cancelada la intención de aprobarse en algún momento. La incorporación de los diferentes países al esquema del Acta UPOV 91 es una estrategia mundial de las empresas monopólicas que promueven los transgénicos, ya que es el escenario para tener el control de las semillas en paralelo con las Leyes de Semillas y las Oficinas de Patentes en cada país, como ya ocurre en países donde tienen el control total.

Las alternativas ante un sistema de semillas en desequilibrio

Con el cierre de la PRONASE en México se trastocó el sistema de abastecimiento de semillas. Ante lo cual fue necesario encontrar otras opciones para que los híbridos y variedades disponibles generados por la investigación pública fueran incrementados y difundidos en forma extensiva, ya que el único usuario de estas variedades por más de 30 años había sido la PRONASE. A pesar del escaso apoyo al mejoramiento de variedades en el INIFAP, en los últimos años se inscribieron 67 variedades en el CNVV y en la suma de los años de 1942 a 2013, más de 270 variedades

mejoradas e híbridos del Instituto; por su parte, otras universidades han generado más de 130 híbridos y variedades (Espinosa *et al.*, 2012). Con la participación decidida de investigadores del INIFAP, por iniciativa propia se promovieron empresas de semillas a baja escala, lográndose la participación de innumerables microempresas (más de 70), varias de las cuales maduraron hasta formalizarse en empresas de mayor tamaño. Las microempresas constituyen una alternativa para complementar el surtimiento de semillas de híbridos y variedades (Espinosa *et al.*, 1993; Espinosa *et al.*, 2012). El uso de semilla certificada de maíz en México es bajo (25%), concentrándose en provincias agronómicas de alta productividad (riego o buena precipitación pluvial). El abastecimiento de semillas en lugares no cubiertos por las empresas privadas es escaso, aun cuando existen híbridos y variedades de maíz desarrollados por el INIFAP, las universidades y otros organismos nacionales, requiriéndose esquemas alternativos para su difusión y uso extensivo, como son microempresas de semillas de productores y agrónomos (Tadeo y Espinosa, 2003; Tadeo *et al.*, 2005; Cereceres *et al.*, 2007).

Un caso que ejemplifica lo anterior es el trabajo que desde 1982 se realiza en la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en Mejoramiento Genético y Producción y Tecnología de Semillas de maíz con el objetivo de desarrollar variedades mejoradas, fortaleciendo el proceso enseñanza-aprendizaje. (Tadeo *et al.*, 1997). Inicialmente fueron multiplicados y comercializados por la PRONASE, sin embargo, ante el cierre ya comentado fue necesario encontrar otras opciones para que los híbridos y variedades generados fuesen incrementados y difundidos en forma extensiva (Espinosa *et al.*, 2003 b; Espinosa *et al.*, 2009 b).

Esta estrategia se multiplica, por parte del INIFAP, en otras regiones de México, como es el trópico húmedo, en los estados de Veracruz, Chiapas, Guerrero. Se cuenta con híbridos y variedades desarrollados por este instituto que requieren el concurso de empresas de semillas para lograr su transferencia y difusión bajo el esquema de “Microempresas de semillas” como complemento de autoabastecimiento, que se basa en la tradición de los agricultores de usar semilla de su propia parcela o semilla de agricultores vecinos. Las microempresas aprovecharían los híbridos desarrollados, se apoyarían en asesoría técnica y surtimiento de semilla registrada por parte del INIFAP y las universidades (Sierra *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2005; Gómez *et al.*, 2013).

¿MasAgro tiene la intención de sustituir a INIFAP?

En el año 2008, al cumplirse 18 años del TLCAN y abrirse completamente la importación de maíz, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) transfirió a México un millón de dólares en apoyo a la investigación en maíz y frijol a través de la SAGARPA. Con errado sentido de estrategia, el gobierno de Felipe Calderón entregó la fracción de recursos correspondientes al maíz al CIMMYT, en vez de asignarlos al INIFAP, que es el instrumento de desarrollo e innovación tecnológica del Estado. Continuando la cadena de errores, la SAGARPA promovió al año siguiente un proyecto para que la Universidad Autónoma Chapingo (UACH) multiplicara sus semillas mejoradas de maíz y frijol para diversas regiones del país. Esta institución no tiene tal mandato. El INIFAP y otras instituciones públicas son los que han inscrito la mayoría de las variedades públicas incluidas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV). Esta iniciativa del gobierno de Felipe Calderón no prosperó.

En seguimiento a una estrategia aparentemente orientada a debilitar funciones del INIFAP definidas en su mandato, y particularmente en el área de las semillas, el Secretario Francisco Mayorga asignó, sin convocatoria previa, 1 650 millones de pesos de su presupuesto al CIMMYT para ejecutar el proyecto de aumento de la producción de maíz y trigo. Éste es un proyecto denominado “Mejoramiento Sostenible de la Agricultura Tradicional” (MasAgro) que tiene por objetivo incrementar sosteniblemente la producción de maíz entre 5 y 10 millones de toneladas anuales en el sector agrícola tradicional, en un horizonte de diez años. Su estrategia incluye la transferencia de la Agricultura de Conservación y la sustitución de los maíces nativos por variedades mejoradas resistentes a la sequía. Mientras los objetivos de MasAgro son válidos, su estrategia erra por incompatible con el objetivo nacional de protección del reservorio de diversidad genética de maíz, custodiado y manejado por ese sector tradicional, a la vez productor del maíz de especialidad para la pluricultural cocina mexicana. Esta iniciativa del gobierno de Calderón resulta por lo menos inexplicable, ya que México tiene en INIFAP un avanzado y capaz sistema público de investigación agropecuaria y forestal desarrollado durante más de 50 años, y que hasta ahora ha sido reconocidamente provechoso para la nación.

La línea de debilitamiento de facto de las funciones del INIFAP tiene más elementos que no son contingentes. Se conecta con: a) la oportunidad que ofrece el déficit alimentario nacional al aparato propagandístico

de la industria de semillas transgénicas, con promesas objetables (*La Jornada*, Antonio Turrent 24/10/2012 y 11/01/2013); b) la solicitud de permisos para la siembra comercial de maíz transgénico en el norte del país; y c) el acto filantrópico ampliamente divulgado de la fundación de Bill Gates y de Carlos Slim hacia el CIMMYT. Estos elementos e implicaciones han sido espléndidamente abordados por Silvia Ribeiro (<http://www.jornada.unam.mx/2013/02/23/economia/026a1eco>) y Ana de Ita (<http://www.jornada.unam.mx/2013/02/24/opinion/028a1eco>). Se debe añadir que el INIFAP es una institución reconocidamente productiva. Tan sólo 30 de sus aportaciones tecnológicas generaron un beneficio neto para el país equivalente a 125 años de la inversión pública en el INIFAP.

En experimentación independiente de campo se resalta que los híbridos de maíz del INIFAP son por lo menos competitivos con los de la industria multinacional en las mejores tierras del país y claramente sobresalientes en tierras de menor potencial de producción. Investigadores de maíz del INIFAP han propuesto y publicado los elementos de un plan para alcanzar la autosuficiencia en maíz (www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf). Este plan se basa en la oferta pública y privada de variedades de maíz no transgénico, en la diversidad genética de las razas nativas de maíz y en la tecnología pública de producción y protección.

Fortalecer al INIFAP sería una estrategia visionaria del gobierno mexicano para aumentar de manera soberana la producción del campo, aun si su política de fomento incluyera el fortalecimiento de actores contingentes como la industria multinacional de semillas y el CIMMYT. El Estado mexicano requiere una política visionaria para la seguridad alimentaria y para la protección de su biodiversidad genética frente al cambio climático.

La nación requiere cambiar su estrategia de producción de maíz para su seguridad alimentaria. Para alcanzarla en cuanto al maíz, los consorcios multinacionales encabezados por Monsanto ofrecen al país su “tecnología privada transgénica”; el CIMMYT ofrece su proyecto MasAGRO, y el INIFAP su proyecto “Autosuficiencia en Maíz con tecnología pública”.

MASAGRO promete incrementar sustentablemente el rendimiento promedio actual tradicional (campesino) de 2.2 a 3.7 t ha⁻¹ en un plazo de 10 años. El proyecto consta de tres componentes en cuanto al maíz: 1) desarrollo sustentable con el productor; 2) Descubrimiento de la diversidad genética de las semillas de maíz nativo; y 3) estrategia

internacional para aumentar el rendimiento del maíz. El segundo componente implica el análisis de ADN de 422 mil muestras de maíz nativo mexicano, al que se destina la mayor fracción presupuestal que es coordinada por CIMMYT con participación de laboratorios internacionales y nacionales. Los dos componentes restantes han sido definidos por CIMMYT para ser ejecutados por investigadores mexicanos de institutos y universidades públicas y privadas. Los investigadores son coordinados y reciben financiamiento en lo individual a través del CIMMYT. Los componentes 1) y 3) persiguen la sustentabilidad (del suelo y de la diversidad genética del maíz). Sin embargo, a la manera de la revolución verde, la intención es introducir variedades mejoradas resistentes a la sequía, desplazando a los maíces nativos. Estos serán conservados por programas especiales *in situ* y en bancos de germoplasma. Esta estrategia reducirá la diversidad genética *in vivo* e interrumpirá el Mejoramiento Genético Autóctono. En el informe de MasAGRO en noviembre de 2012 se señaló como logro relevante que se cuenta con 120 toneladas de semilla producida por empresas de semillas, lo que es cuestionable con base en los recursos económicos asignados y la asignación de otras fuentes de financiamiento a través de las Fundaciones Produce, estatales, en comparación con lo que se ha logrado en las microempresas promovidas por algunos investigadores.

De continuar lo anterior en México se incrementará una presión adicional a los productores y al campo, en crisis desde hace muchos años, y lejos de resarcir la distorsión del sistema de semillas en México —propiciado por quienes promovieron el cierre de la PRONASE, el abandono de abastecimiento de semillas alternativos y con ello la concentración y comercio de semillas en unas cuantas empresas transnacionales que comercializan la semilla a los precios más elevados del mundo—, se afectará severamente la sustentabilidad y el equilibrio de la diversidad genética de la especie más importante para la humanidad: el maíz.

Ceder a CIMMYT la coordinación de la investigación estratégica en maíz y trigo al apoyar el proyecto “MasAgro”, en el cual colaboraría el INIFAP y otras instituciones de enseñanza, quizás resume la intención de cerrar INIFAP para apoyarse en el mencionado centro, tal y como se hace en algunos países en donde no hay sistema de investigación pública nacional, y también reitera el escaso crédito a las instituciones de investigación nacionales, así como el escaso valor y el no reconocer propuestas de estrategias de técnicos mexicanos para lograr la “Autosuficiencia en Maíz con tecnología pública”.

Conclusiones

La Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (2007) permite legalmente la repetición de categoría en semilla básica y registrada, lo que propicia escenarios complicados que benefician a las grandes corporaciones.

La Ley de Semillas obliga a que toda variedad (mejorada o nativa) deba ser incorporada al Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) como requisito indispensable para acceder al proceso de calificación, para lo cual debe contar con la caracterización con base en la Guía Técnica para la Descripción Varietal de Maíz, lo que significa una exagerada complicación para los productores de maíz y quienes abastecen de semilla de maíz en forma local.

Las infracciones y sanciones en la Ley de Semillas 2007 proveen el marco jurídico para fortalecer el crecimiento económico y el posicionamiento comercial de grandes empresas, y da lugar a la instrumentación de acciones punitivas del Estado mexicano contra productores locales y empresas de semilla en baja escala y otro tipo de agricultores que comercian semillas nativas en forma local.

Las infracciones y sanciones en la Ley, si bien tratan de limitar la semilla pintada y la semilla llamada pirata, también podrían favorecer el fortalecimiento de las empresas posicionadas en el comercio de semillas y apoyar acciones punitivas contra productores locales y empresas de semilla en baja escala y otro tipo de agricultores que comercian semilla en forma local.

El intento por ubicar a México en el Acta UPOV 91 con una nueva Ley Federal de Variedades de Plantas (LFVV) es un escenario que sólo favorece a las empresas transnacionales y corporaciones que promueven los transgénicos, que sería el marco legal adecuado para consumir el despojo de variedades nativas en caso de contaminación transgénica de maíces nativos y mejorados nacionales.

Referencias

Cereceres, O.J., Ortega, P.R., Molina, G.J.D., Mendoza, R.M., Mendoza, C.C., Castillo, G.F., Muñoz, O.A., Turrent, F.A., Kato, Y.T.A. (2007). Análisis de la problemática de la producción nacional de maíz y propuesta de acción. *Grupo Xilonen*. Universidad Autónoma Chapingo,

- Colegio de Postgraduados, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias, Chapingo, México. 29 p.
- Diario Oficial de la Federación. (1991). Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas. 15 de julio de 1991.
- Diario Oficial de la Federación. (1996). Ley Federal de Variedades Vegetales. 25 de octubre de 1966.
- Diario Oficial de la Federación. (2007). Ley Federal sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas. 15 de junio de 2007.
- Espinosa, C.A., Castellón, G.J.J., Cortes F.J.I., Turrent F.A. (1993). Producción de semillas certificadas de maíz a través de microempresas como una estrategia de abastecimiento para México. *Sistemas de producción y Desarrollo Agrícola*, 401- 403.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Piña del, V.A., Martínez, M.R. (1997a). Capacidad productiva de cruza de variedades de maíz de polinización libre combinadas con híbridos simples de maíz. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 8:139-142.
- Espinosa-Calderón, A., López-Pereira, M.A., Tadeo-Robledo, M. (2000). Análisis agroeconómico del uso de semilla mejorada de maíz en los Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*, Vol. 9:53-58.
- Espinosa, C.A., López, P.M.A., Gómez, M.N., Betanzos, M.E., Sierra, M.M., Coutiño, E.B., Aveldaño, S.R., Preciado, O.R.E., Terrón I.A.D. (2003a). Indicadores Económicos para la producción y uso de semilla mejorada de Maíz de Calidad Proteínica (QPM) en México. *Agronomía Mesoamericana*. 14(1):105-106.
- Espinosa, C.A., Sierra, M.M., Gómez, M.N. (2003b). Producción y Tecnología de semillas mejoradas de maíz por el INIFAP en el escenario sin la PRONASE. *Agronomía mesoamericana*. 14(1):117-121.
- Espinosa, C.A., Piña, R.J., Caetano, D.O.A., Mora, V.M. (2004). Listado de variedades liberadas por el INIFAP de 1980 a 2003. Publicación Especial No. 2, *INIFAP, CIRCE, CEVAMEX*, Chapingo, México. 30 p.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Turrent, F.A., Gómez, M.N., Sierra, M.M., Palafox, C.A., Caballero, H.F., Valdivia, B.R., Rodríguez, M.F.A. (2007). Variedades mejoradas disponibles y abastecimiento de semillas ante la nueva ley de semillas en México. Editores R. Muñiz Salazar, S. Avilés M., L. Cervantes D., R. Encinas F. En: *Memorias de X Congreso Internacional en Ciencias Agrícolas*. Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Mexicali, B. C. pp: 490-496.

- Espinosa, C.A., Turrent, F.A., Tadeo, R.M., Gómez, M.N., Sierra, M.M., Caballero, H.F. (2008). Importancia del uso de semilla de variedades mejoradas y nativas de maíz en México. En: Desde los colores del maíz, una agenda para el campo mexicano. Editor J. Luis Seefoó Lujan. Volumen I, *El Colegio de Michoacán*, CONACYT, Zamora, Michoacán. p: 233-255.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Turrent, F.A., Gómez, M.N., Sierra, M.M., Caballero, H.F., Valdivia, B.R., Rodríguez, M.F.A. (2009a). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Ciencias*. 92-93:118-125.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Turrent, F.A., Sierra, M.M., Gómez, M.N., Palafox, C.A., Rodríguez, M.F.A., Caballero, H.F., Valdivia, B.R., Zamudio G.B. (2009b). Las semillas insumo fundamental para avanzar hacia la suficiencia alimentaria y reserva estratégica de granos. En: reserva estratégica de alimentos: una alternativa para el desarrollo del campo mexicano y la soberanía alimentaria. Coordinadores Alfonso Ramírez Cuellar, Benito Ramírez Valverde, Beatriz A. Cavalloti Vázquez, Alfredo Cesín Vargas. *CEDRSSA-SAGARPA- CP-UACH*, pp: 77-90.
- Espinosa, C.A., Turrent, F.A., Tadeo, R.M. (2012). Recursos fitogenéticos, patrimonio biocultural, semillas y seguridad alimentaria. En: Políticas Agropecuarias, Forestales y Pesqueras. Coordinador José Luis Calva. Análisis Estratégico para el Desarrollo, Volumen 9. *Consejo Nacional de Universitarios*. pp:198-218.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Turrent, F.A., Gómez, M.N., Sierra, M.M., Valdivia, B.R., Zamudio, G.B. (2012b). Maíz transgénico en el Centro de Origen: riesgos para México y el mundo. En: Memoria del XI Simposio Internacional y VI Congreso Nacional de Agricultura Sostenible. Sociedad Mexicana de Agricultura Sostenible A.C. — Instituto de Recursos Naturales- Colegio de Postgraduados, *Universidad Autónoma de San Luis Potosí*. Vol. 17:1-17. San Luis Potosí, SLP, México.
- Espinosa, C.A., Tadeo, R.M., Arteaga, E.I., Turrent, F.A., Sierra, M.M., Gómez, M.N., Palafox, C.A., Valdivia, B.R., Trejo, P.V., Canales, I.E. (2012). Rendimiento de las generaciones F1 y F2 de híbridos trilineales de maíz en los Valles Altos de México. *Universidad y Ciencia*. 28(1):57-64.
- Hernández, T.L., Muñoz, G.A., Sánchez, H.M., Carballo, C.A., López, P.A. (2004). Producción de semilla mejorada por organizaciones de

- agricultores: caso Productora de maíz Teocintle. *Fitotecnia Mexicana*. Vol. 27:93-100.
- Gaytán, B.R., Martínez, G.M.I., Mayek, N. (2009). Rendimiento de grano y forraje en híbridos de maíz y su generación avanzada F2. *Agricultura Técnica en México*. 35(3):295-304.
- Gómez, M.N., Sierra, M.M., González, C.M., Cantú, A.M.A., Ramírez, F.A., Wong, P.J.D.J., Manjarrez, S.M., Ramírez, D.J.L., Espinosa, C.A. (2005). H-562, híbrido de maíz de alto rendimiento y tolerante al complejo "Mancha de asfalto" y royas. Campo Experimental Iguala, Centro de Investigación Regional Pacífico Sur. *INIFAP*. Folleto Técnico Número 11. Iguala, Guerrero. 20 p.
- Gómez, M.N.O., Cantú, A.M.A., Sierra, M.M., Hernández, G.C.A., Espinosa, C.A., González, C.M. (2013). Maíz híbrido H-565, nueva versión del H-507 para el Trópico bajo de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4(5):819-824.
- González, E.A., Islas, G.J., Espinosa, C.A., Vázquez, C.A., Wood, S. (2008). Impacto económico del mejoramiento genético del maíz en México: Híbrido H-48. *INIFAP*, Serie: *Estudios de Evaluación del Impacto Económico de Productos del INIFAP*. Publicación Técnica no. 25. México. 88 p.
- <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=30211225005>
<http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaizeSpan.pdf>
- Luna, M.B.M., Hinojosa, R.M.A., Ayala, G.Ó.J., Castillo, G.F., Mejía, C.J.A. (2012). Perspectivas de desarrollo de la industria semillera de maíz en México. *Rev. Fitotec. Mex.* 35(1):1-7.
- Sánchez, R.F., Martínez, M.A., López, I.L.A. (1998). Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. *FIRA*, Boletín Informativo, Núm., 309:88.
- Sierra, M.M., Palafox, C.A., Rodríguez, M.F., Espinosa, C.A., Gómez, M.N., Caballero, H.F., Barrón, F.S., Sandoval, R.A. (2005). H-520 y 518, nuevos híbridos trilineales de maíz para el trópico húmedo de México. XX Reunión Latinoamericana de Maíz. Editores Miguel Barandiaran Gamarra, Alexander Chávez Cabrera, Ricardo Sevilla Panizo, Teodoro Narro León. Lima, Perú. pp 628-632.
- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., Martínez, M.R., Solano, A.M., Piña, D.V.A. (1997). Use of CIMMYT Germplasm to Develop Maize Hybrids at the UNAM, In: *The Genetics and Exploitation of Heterosis in Crops. An International Symposium México*. pp. 240-241.

- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., Solano, A.M., Martínez, M.R. (2003). Androesterilidad en líneas e híbridos de maíz de Valles Altos de México. *Agronomía Mesoamericana*. 14(1):15-19.
- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A. (2003). Microempresas de semillas con híbridos “Pumas de maíz” alternativa para abastecimiento en México. *Revista FESC Divulgación Científica Multidisciplinaria*. 3(8):5-10.
- Tadeo, R.M., Espinosa, C.A., Martínez, M.R., Arias, R.R. (2005). Producción y tecnología de semillas, desarrollo y difusión de híbridos y variedades de maíz de la UNAM para su adopción extensiva en México. XX Reunión Latinoamericana de Maíz. Editores Miguel Barandiaran Gamarra, Alexander Chávez Cabrera, Ricardo Sevilla Panizo, Teodoro Narro León. Lima, Perú. pp 435-441.
- Turrent, F.A., Espinosa, C.A. (2006). Seguridad alimentaria y el mercado nacional de semillas. En: *Memorias del ciclo de conferencias*. 10 Años de Enlace, Innovación, Progreso. Fundación Hidalgo Produce. pp 44-50.
- Turrent-Fernández, A., Serratos-Hernández, J.A., Mejía-Andrade, H., Espinosa-Calderón, A. (2009a). Propuesta de cotejo-de impacto de la acumulación de transgenes en el maíz (*Zea mays* L.) nativo mexicano. *Agrociencia* 43(3):257-265.
- Turrent-Fernández, A., Serratos-Hernández, J.A., Mejía-Andrade, H., Espinosa-Calderón, A. (2009b). Liberación comercial de maíz transgénico y acumulación de transgenes en razas de maíz mexicano. *Rev. Fitotec. Mex.* 32(4):257-263
- Valdivia, B.R., Caro, V.F.D., Ortiz, C.M., Betancourt, V.A., Ortega, C.A., Vidal, M.V.A., Espinosa, C.A. (2007). Desarrollo participativo de híbridos sintéticos de maíz y producción de semilla por agricultores. *Agricultura Técnica en México*. 33(2):135-143.



CAPÍTULO 15
LA PROTECCIÓN OFICIAL DEL MAÍZ FRENTE
A LOS TRANSGÉNICOS: UNA SIMULACIÓN DE ESTADO



Lizy Peralta y Catherine Marielle

Entre el poder y el deber

En 1987, la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo de Naciones Unidas hizo público el informe *Nuestro futuro común* conocido también como Informe Brundtland, en el cual se instaba a la comunidad internacional a abordar integralmente las cuestiones ambientales y del crecimiento económico, con el fin de lograr un *desarrollo sostenible*, definido como aquél que satisface las necesidades de las generaciones actuales sin comprometer las posibilidades de las generaciones futuras para atender sus propias necesidades. Fue razón para que la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) convocara en 1992 a la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro, Brasil, la *Cumbre de la Tierra*, de la cual derivaron varios documentos y convenios de observancia jurídica obligatoria, entre ellos el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB).

El CDB puede reconocerse, en primera instancia, como el resultado de un esfuerzo significativo que compromete a los gobiernos a tomar medidas para la conservación de la biodiversidad existente en los territorios nacionales; a actuar precautoriamente frente a cualquier amenaza que la ponga en riesgo; a reconocer las prácticas indígenas y locales para conservar su diversidad biológica; pero también es un acuerdo que promueve intereses de las empresas transnacionales, ya que abre al mercado

la biodiversidad de los territorios indígenas y el conocimiento asociado a su uso, y compromete a los gobiernos a valorar el uso de tecnologías *pertinentes*, aludiendo a los transgénicos y sus patentes.

No obstante esta incompatibilidad jurídica —que pone en evidencia el poder de las transnacionales en las negociaciones que cobija la ONU—, queda ineludible la obligación de respetar el propio Principio Precautorio, a partir del cual los Estados firmantes, entre ellos México, deben prever, prevenir y atacar, en su fuente, las causas de la amenaza de reducción o pérdida de biodiversidad, *quedando impedidos para alegar la falta de pruebas científicas inequívocas, como razón para aplazar las medidas encaminadas a evitar o reducir al mínimo esa amenaza.*

Sumado a este Principio está el reconocimiento internacional colocado en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, adoptado en 2000 por los miembros del CDB y en vigor desde 2003, sobre la importancia y las necesidades especiales que requieren los países centros de origen y diversidad genética, para la preservación de los cultivos originarios. Es el caso de México, país megadiverso y pluricultural que alberga en su historia y geografías parientes silvestres, procesos de domesticación y de rutas migratorias de pueblos con sus semillas, razas y variedades de maíz, frijol, calabaza, chile, jitomate, aguacate, cacao, etcétera; todas esenciales para la cocina tradicional mexicana, declarada en 2010 patrimonio cultural inmaterial de la humanidad por la Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).

Además, las normas del *Codex Alimentarius* o Código Alimentario de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), entre ellas la del etiquetado, podrán ser revisadas para ajustarse a los nuevos conocimientos científicos y otras informaciones pertinentes, pudiendo establecerse la obligatoriedad del etiquetado en los productos que contengan transgénicos, como quedó asentado en la Revisión 2011 de las Directrices del Codex sobre etiquetado nutricional.

Son estas medidas internacionales —la precautoria, la proteccionista y la de publicidad— la base jurídica que debe regir toda actuación nacional de los Estados, a fin de garantizar la continuidad de los cultivos que alimentan, no sólo a una cultura regional, sino a la humanidad; son también un abono a las condiciones históricas necesarias para un ejercicio pleno de derechos individuales, colectivos y de los pueblos del mundo.

Es así que cada vez son más los gobiernos que deciden restringir o prohibir los transgénicos, resistiendo a las presiones de las corporaciones transnacionales; por ejemplo, en diciembre de 2011 fue promulgada en Perú una ley que establece la moratoria de 10 años para el ingreso o producción de organismos vivos modificados o transgénicos, con fines de cultivo o crianza, incluidos los acuáticos, para ser liberados en el ambiente. Diversos países de la Unión Europea han invocado la Cláusula de Salvaguarda y han prohibido el cultivo del maíz MON810 en sus territorios (Austria, Polonia, Francia, Luxemburgo, Alemania, Bulgaria); en Grecia y Hungría se aplica moratoria a los transgénicos; en Italia se practica una prohibición *de facto*; Irlanda se declaró Zona Libre de Transgénicos...¹ Por su parte, el gobierno de India decidió en 2010, bajo la presión social, prohibir el cultivo de la berenjena transgénica por ser centro de origen de esa verdura esencial en la cultura alimenticia y en la economía de ese país.

La moratoria al maíz transgénico en México... y su fin

Los primeros experimentos con maíz transgénico desarrollados a campo abierto y permitidos por el gobierno entre 1993 y 1998 en distintas regiones del país,² se anticiparon a las amplias discusiones sobre los efectos negativos que el maíz transgénico produciría en el maíz nativo o criollo y sus parientes silvestres a raíz del flujo de genes. Fue justamente esta preocupación la que llevó al Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA), instancia que se encargó hasta 1999 de dar opinión científica sobre las solicitudes de siembra de transgénicos a la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Alimentación y Pesca (SAGARPA), a lograr un consenso científico sobre la necesidad de establecer una moratoria a la liberación de maíz transgénico en México.

¹ Para más información sobre algunos de los países que han vetado los cultivos transgénicos, consultar: <http://www.greenpeace.org/espana/es/Trabajamos-en/Transgenicos/Soluciones-y-demandas/Moratorias-e-iniciativas/>

² Entre las empresas semilleras Asgrow Mexicana, Pioneer, Mycogen Mexicana, Monsanto e Híbridos Pioneer, el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional, efectuaron alrededor de 32 experimentos en diversas regiones de los estados de Guanajuato, Morelos, Sinaloa, Nayarit, Sonora, Jalisco, Baja California Sur y el Estado de México.

Dicho consenso dio lugar a que el gobierno mexicano, actuando precautoriamente, aplicara una moratoria *de facto* en 1998 al no admitir más solicitudes de siembra experimental de maíz transgénico, aunque sin ampliarla a las importaciones de maíz en grano provenientes de Estados Unidos. Dado que en 1994 entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN), firmado entre los gobiernos de Canadá, Estados Unidos y México, por el cual importamos cantidades crecientes de maíz de Estados Unidos, y que en ese país desde 1996 se han destinado año tras año más hectáreas a la siembra comercial de maíz transgénico sin segregarlo del maíz convencional, han entrado a México decenas de millones de toneladas de maíz genéticamente modificado.

Las advertencias científicas y posteriores corroboraciones sobre la contaminación transgénica de los maíces nativos o criollos y convencionales; los riesgos anunciados para la salud humana y animal, el ambiente, la integridad cultural de los pueblos, la soberanía alimentaria de México; así como la experiencia de agricultores de otras regiones del mundo que han sido enfrentados a la *justicia* por tener en sus campos contaminados el transgen patentado, propiedad de las empresas transnacionales, entre otros argumentos, eran —y siguen siendo— más que suficientes para que el Estado mexicano, reforzara la moratoria y prohibiera la entrada y la siembra de maíces transgénicos, apelando a su voluntad de servir al pueblo y a sus obligaciones internacionales. Además debió atender las recomendaciones de moratoria a la siembra de maíz transgénico emitidas por la Comisión de Cooperación Ambiental de América del Norte (2004) y por el Relator Especial de Naciones Unidas sobre el Derecho a la Alimentación, Olivier De Schutter (2012).³

En cambio, el Estado mexicano tomó la decisión política de aliarse a las empresas semilleras y de imponer los transgénicos en territorio nacional, haciendo uso arbitrario de sus facultades al crear condiciones

³ Ver el informe de la CCA “Maíz y Biodiversidad. Efectos del maíz transgénico en México”, con la recomendación de mantener la moratoria a la siembra comercial de maíz transgénico y fortalecerla, minimizando las importaciones de maíz en grano viable de países que cultiven variedades genéticamente modificadas con fines comerciales (http://www.ccc.org/Storage/56/4839_Maize-and-Biodiversity_es.pdf); así como el informe del Relator Olivier De Schutter recomendando que el gobierno mexicano “estudie la posibilidad de volver a declarar la moratoria de los experimentos sobre el terreno y del cultivo con fines comerciales de maíz transgénico” (http://www.srfood.org/images/stories/pdf/oficialreports/20120306_mexico_es.pdf).

jurídicas injustas que simulan proteger derechos; y al destinar instituciones y recursos públicos a los fines transnacionales.⁴ En 2005 creó una ley para los transgénicos, la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y en 2009 eliminó el régimen de protección especial para el maíz (RPEM), única medida legal de resguardo del centro mundial de origen, con una reforma al reglamento de la ley carente de toda validez jurídica: originalmente el reglamento establecía que el RPEM se conformaría por las “disposiciones jurídicas relativas a la bioseguridad que establezca la autoridad” (2008); esta disposición —de por sí arbitraria— fue eliminada mediante una reforma reglamentaria violatoria de sus propios procedimientos. La SAGARPA presentó ante la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) un anteproyecto de acuerdo que contenía supuestas disposiciones relativas al RPEM, el cual fue sometido al procedimiento de mejora regulatoria, que incluye la consulta pública (no vinculante). La COFEMER hizo observaciones a la Manifestación de Impacto Regulatorio y, en respuesta, la SAGARPA emitió un decreto de reforma al Reglamento de la LBOGM, eliminando el RPEM. Siendo ese decreto un nuevo acto administrativo, debió ser sometido a otro procedimiento de mejora regulatoria. Finalmente el simulacro de hacer pública y participativa la creación de reglamentos, acuerdos, decretos, etcétera, termina cuando llegan a la Consejería Jurídica de la Presidencia de la República, donde pueden ser modificados y definidos unilateral y arbitrariamente incluso sin considerar las observaciones de la propia COFEMER y de las secretarías involucradas...

Así es como el gobierno puso fin a la moratoria en México. No sólo ha permitido desde octubre de 2009 las siembras de maíz transgénico sino que ha legalizado lo ilegal: los transgenes que desde tiempos anteriores a la moratoria, han contaminado los campos mexicanos y que hasta el día de hoy siguen entrando y dispersándose por el territorio nacional mediante semillas híbridas y granos contaminados.⁵

⁴ Por mencionar un caso, en 2009 Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A. de C.V. fue beneficiada del Programa de Estímulos a la Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación, Modalidad INNOVATEC, con más de 20 millones de pesos... Ver información en: http://www.conacyt.gob.mx/tecnologica/estimulo/2009/Resultados_INNOVATEC.pdf

⁵ “Extrañamiento dirigido al Presidente de la República Mexicana” de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS), presentado a la SEMARNAT y a otras autoridades. Ver más detalles en: <http://www.uccs.mx/>

El Estado mexicano, un Estado de simulaciones

Tras la aniquilación del RPEM, el gobierno ha venido aplicando criterios establecidos en la ley para la generalidad de los cultivos, que parten del falso supuesto de que es posible la coexistencia entre los cultivos transgénicos y no transgénicos, ignorando las especificidades bioculturales del maíz, además de su carácter de cultivo originario. Tal es el caso del “paso a paso” que pone a transitar a los cultivos por las fases experimental, piloto y comercial;⁶ o el establecimiento de “zonas restringidas” y, en consecuencia, zonas permitidas para los transgénicos.

A mayor abundamiento, las zonas restringidas que la ley señala para la generalidad de los cultivos transgénicos son: los centros de origen, los centros de diversidad, las áreas naturales protegidas y las zonas libres de transgénicos. Suponiendo, sin conceder, que hiciéramos una suma aproximada de estas zonas restringidas para los transgénicos —incluyendo las zonas comprometidas a la conservación y a la preservación por medidas de política ambiental—, ver mapa 1.

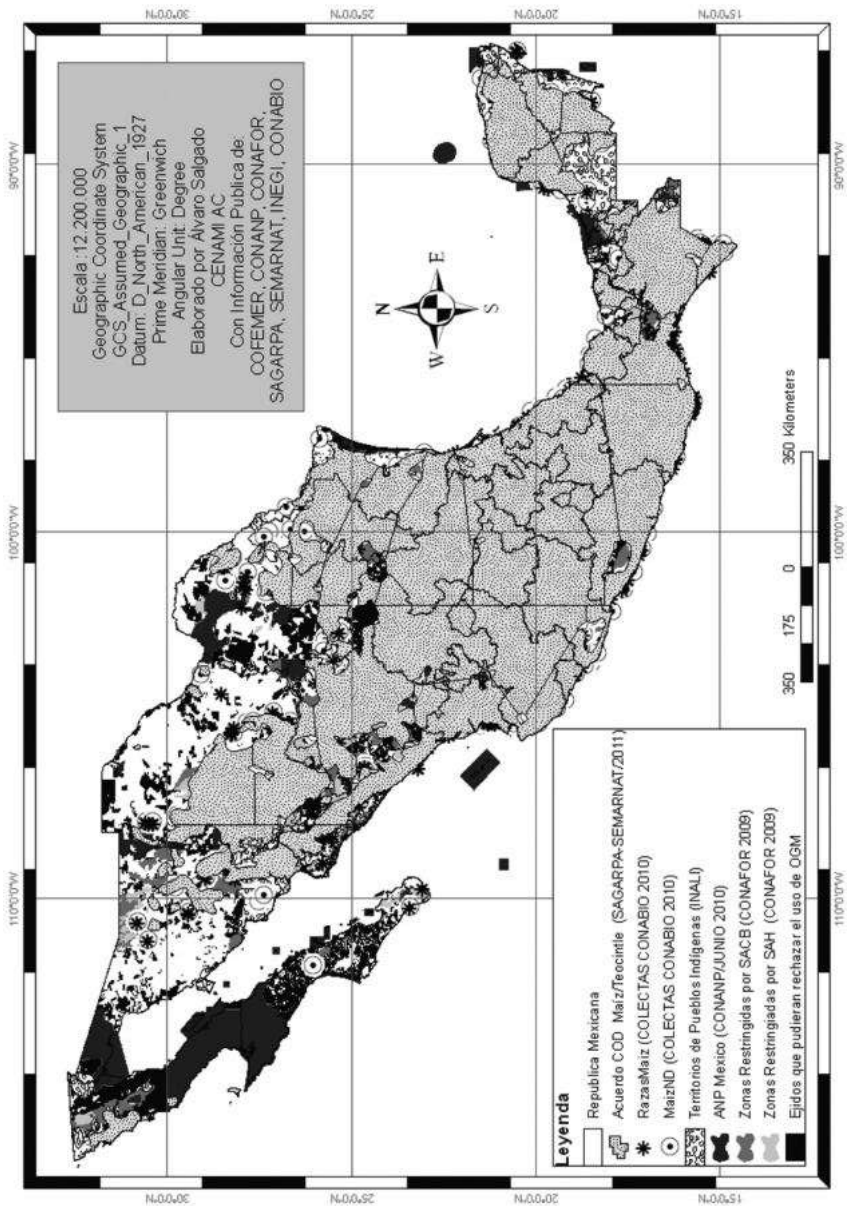
Aun cuando el mapa no expresa la diversidad de zonas de producción orgánica que por ley podrían ser zonas libres de transgénicos, a primera vista parecería que con esta protección fragmentada, en efecto la mayor parte del territorio podría ser protegida frente a los transgénicos. Sin embargo, cada una de las formas previstas en la LBOGM —que presumen la posibilidad de restricción de transgénicos— por lo pronto para el maíz resultan inviables e inútiles y dejan en riesgo inminente al conjunto territorial, como se detalla a continuación:

Sobre los Centros de Origen y los Centros de Diversidad

La ley y su reglamento separan el criterio integral de “centro de origen y diversidad”, con lo cual rompe la unidad del concepto y su dinamismo

⁶A modo de ejemplo, el gobierno mexicano permitió por más de veinte años la experimentación con algodón transgénico, que en 2009 cubría alrededor de 100,000 hectáreas, y en 2010 autorizó siembras en fase piloto. El algodón, como el maíz, es un cultivo originario de México cuyas variedades silvestres ya han sido contaminadas con transgenes a grandes distancias de los sitios experimentales, como consta en: Wegier A, Piñeyro-Nelson A, Alarcón J, Gálvez-Mariscal A, Álvarez-Buylla ER, Piñero D. (2011), Recent long-distance transgene flow conforms to historical patterns of gene flow in wild cotton (*Gossypium hirsutum*) at its center of origin. *Molecular Ecology*, Vol. 20: 4182-4194. En el mundo se coloca como el tercer cultivo transgénico más extensamente sembrado.

Mapa 1



pleno de origen, domesticación y diversidad del maíz, que ocurre a lo largo y ancho del territorio nacional: por un lado los centros de origen (CO), señalados como aquellas áreas donde hayan sucedido procesos de domesticación, debiendo existir simultáneamente restos arqueológicos de mazorcas o polen, razas o variedades y parientes silvestres de maíz; por el otro, los centros de diversidad (CD), definidos como aquellas regiones que albergan al mismo tiempo razas o variedades y parientes silvestres de maíz.

Con estos criterios legales, se niega la posibilidad jurídica de proteger integralmente al territorio nacional como centro de origen y diversificación continua del maíz.

Por su parte, el Acuerdo por el que se determinan los centros de origen y los centros de diversidad del maíz en el territorio nacional, elaborado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la SAGARPA y con dictamen favorable de la Comisión Federal de Mejora Regulatoria (COFEMER) en diciembre de 2011, abunda en el mismo sentido aunque ampliando la contradicción jurídica: comienza reconociendo a México como centro de origen del maíz en términos del artículo 2 fracción XI de la LBOGM,⁷ es decir como unidad territorial que debe ser protegida por un régimen especial; y en seguida determina geográficamente los CD, incluyendo los CO del maíz, fragmentando el territorio nacional.

Al dejar amplias zonas libres para la siembra comercial de maíz transgénico, no sólo en el norte sino también en el centro y el sur del país, expone al riesgo de contaminación tanto las variedades nativas o criollas y sus parientes silvestres que ahí se encuentran —siendo o no parte del registro de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO)—, como los maíces híbridos convencionales ahí cultivados. La falta de protección legal para los cultivadores de maíz de esas regiones se añadirá entonces a la imposibilidad real de todos los demás campesinos mexicanos de ejercer su derecho a la no contaminación.

Asimismo, el Acuerdo establece como medida general para la protección del maíz y sus parientes silvestres (léase general más no

⁷ Artículo 2. Para cumplir con su objetivo, este ordenamiento tiene como finalidades: "...XI. Determinar las bases para el establecimiento caso por caso de áreas geográficas libres de OGMs en las que se prohíba y aquellas en las que se restrinja la realización de actividades con determinados organismos genéticamente modificados, así como de cultivos de los cuales México sea centro de origen, en especial del maíz, que mantendrá un régimen de protección especial;..."

especial...) el monitoreo en sus poblaciones nativas ubicadas en los CO y CD, en vez de monitorear el maíz importado y las semillas híbridas, por existir registros de lotes contaminados. Se trata de una medida incompatible con la propia restricción que hace el documento para el almacenamiento, la distribución y la comercialización de maíz transgénico en dichas regiones; también implica la amenaza gubernamental de mitigar, controlar o eliminar los transgenes detectados no permitidos, poniendo en riesgo las cosechas y semillas campesinas e indígenas, incluso pudiendo derivar en persecuciones legales.⁸ Cabe señalar que el Acuerdo finalmente publicado en el DOF el 2 de noviembre de 2012 sólo abarca a ocho estados del norte del país, fragmentando aún más el territorio nacional; en lo fundamental no cambia las deficiencias aquí reseñadas.

Sobre las zonas libres de transgénicos

El establecimiento de zonas libres de transgénicos (ZLT), por lo menos para el caso del maíz, no evitará la contaminación progresiva de variedades criollas o nativas y los maíces convencionales en todo el territorio nacional (incluidas las demás zonas restringidas). Si bien las ZLT pretenden proteger legalmente a los agricultores orgánicos, queda científicamente evidenciado que el flujo genético o de semillas tarde o temprano alcanzará y afectará ese tipo de producción,⁹ así como su certificación y su mercado.

⁸ El 12 de abril del 2012 la Comisión de Agricultura y Ganadería de la LXI Legislatura publicó en la Gaceta Parlamentaria un proyecto de decreto que reforma, adiciona y deroga diversas disposiciones de la Ley Federal de Variedades Vegetales de 1996. De concretarse dicha reforma “se preparan las condiciones para apropiarse de materiales nativos y criollos que de forma natural o flujo génico por polen, se contaminen con materiales protegidos y sean demandados por las empresas transnacionales”. Así lo advirtieron más de 250 representantes de organizaciones científicas, campesinas, de derechos humanos y ambientales, y ciudadanos que han expuesto su preocupación en una carta dirigida a esta Comisión, logrando por lo pronto detener la aprobación del dictamen. Más información en: <http://www.afectadosambientales.org/se-abre-el-debate-para-discutir-la-privatizacion-del-sector-semillero-a-traves-de-una-reforma-a-ley-federal-de-variedades-vegetales/> y <http://www.semillasdevida.org.mx/>

⁹ La Ley de Productos Orgánicos, en su artículo 27, establece la prohibición de usar materiales, productos e ingredientes o insumos que provengan o hayan sido producidos a partir de organismos genéticamente modificados, en toda la cadena productiva de productos orgánicos.

Además de los productos agrícolas orgánicos, la ley contempla la protección de “otros productos” que sean de interés de la comunidad solicitante (artículo 90, LBOGM), con lo cual podrían quedar incluidos ejidos, pequeñas propiedades y tierras comunales donde los pueblos indígenas y campesinos practican una agricultura tradicional o convencional. Sin embargo, ellos deberán demostrar “científica y técnicamente” que no es viable la coexistencia entre cultivos transgénicos y no transgénicos. En el momento en que los maíces genéticamente transformados circulen a nivel comercial, la contaminación crecerá a larga distancia y de manera exponencial. Por ello, más allá del ámbito biológico, el gobierno mexicano debe garantizar a los pueblos su derecho a elegir el tipo de agricultura y las formas de producción que resguarden la integridad ecológica y económica de sus territorios, sin que corran el riesgo de daños irreversibles a la diversidad biológica y al ambiente.

Sobre las áreas naturales protegidas

Las áreas naturales protegidas (ANP) son regiones que por su riqueza biológica y cultural se crean para ser protegidas de manera particular por el Estado, lo cual de por sí genera intervenciones externas y efectos sobre los territorios de los pueblos. Al igual que las ZLT, quedarán expuestas al flujo genético o de semillas, aún cuando la LBOGM las señala como zonas restringidas donde no se permitirán actividades con transgénicos más que para efectos de biorremediación, es decir usar organismos transgénicos para restaurar ecosistemas dañados o deteriorados, medidas que no detalla la ley.

Dado que una vez liberados al ambiente los genes de maíces transgénicos no pueden contenerse en los sitios originales de siembra, pues no existen barreras capaces de impedir el flujo génico ni la distribución de maíces contaminados en zonas restringidas, resulta evidente que esta política contribuye a una progresiva e irreversible contaminación de todo el país, conduciendo a una simulación de protección oficial del maíz criollo o nativo.

Además, estos criterios han servido a las autoridades para ir definiendo, *a contrario sensu*, las zonas permitidas para las siembras transgénicas en las que no existen, según su lógica, registros de domesticación del maíz, parientes silvestres, razas o variedades, zonas núcleo de ANP,

ni producción orgánica o tradicional en áreas susceptibles de ser ZLT; lo cual significa una franca contradicción con la ciencia formal.

De las solicitudes de siembra de maíz transgénico ingresadas entre 2009 y 2012, el gobierno mexicano autorizó 155 para la etapa experimental y 17 en fase piloto, incluso teniendo dictámenes de bioseguridad negativos. Las empresas semilleras Monsanto, Dow AgroScience, PHI México —empresa de DuPont y subsidiaria de Pioneer Hi bred— y Syngenta Agro, una vez que concluyan los periodos de experimentación y piloto en los estados de Sonora, Chihuahua, Tamaulipas, Sinaloa, Jalisco y Coahuila, podrían sembrar sus maíces transgénicos para fines comerciales en extensiones más amplias de tierra, de autorizarse las solicitudes que ingresan desde septiembre de 2012, así como importarlos *legalmente* para el comercio con el distintivo de ser *semillas de calidad*. Es así como la Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas (2007) promociona a las semillas híbridas y transgénicas; además de desaparecer formalmente a la Productora Nacional de Semillas (Pronase) y de favorecer la producción privada de semillas híbridas, esta ley implantó un procedimiento —que podrán llevar a cabo certificadoras privadas— para calificar la calidad de las semillas en función de su pureza genética y comportamiento agronómico, es decir, de su homogeneidad, de la expresión fiel de sus características y de que no se mezclen distintas variedades. Es evidente que resulta imposible que tales criterios sean satisfechos por las semillas de los pueblos, es decir las nativas, en vista de su rica variabilidad; en cambio, son cubiertos por las híbridas y las transgénicas, por lo que éstas serán las únicas certificadas para la comercialización y la *circulación* como semillas. Las nativas o criollas sólo estarán *habilitadas* para su siembra, no para la venta ni para el intercambio libre, práctica tradicional de los pueblos, a menos de que la etiqueta de su empaque declare género y especie, denominación de la variedad, identificación de la categoría de las semillas y número de lote, entre otros datos que no forman parte del conocimiento y de las prácticas indígenas y campesinas. Por lo tanto, con esta restricción legal se criminaliza el intercambio libre y tradicional de semillas.

Siendo el maíz sustento de vida de los pueblos campesinos e indígenas y el alimento básico de los mexicanos, los reclamos no han cesado. Frente a esta problemática de interés común, quienes hemos ejercido algunos derechos fundamentales para significar la vida democrática, sabemos que el acceso a la información es limitado o nulo, sea por el secreto comercial del que gozan las empresas, por la no obligatoriedad

del etiquetado en los productos que contienen OGM, por el carácter confidencial de la información o bien por la falta de voluntad de las autoridades a abrir sus expedientes al escrutinio público...

Las vías oficiales de participación y consulta pública son simuladas: el Consejo Consultivo Científico de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIO-GEM), integrado por convocatoria pública y de consulta obligatoria, ha sido ignorado en la definición de una política nacional en torno a los transgénicos, ya no digamos el Consejo Consultivo Mixto que de por sí resultó ser un espacio de expresión mayoritaria de los intereses corporativos. Al margen de toda transparencia, la SEMARNAT, la SAGARPA y la Secretaría de Salud integran arbitrariamente sus propios Consejos Técnicos Consultivos para recibir opiniones y resolver sobre el otorgamiento de permisos para siembras de cultivos transgénicos; la consulta pública a las solicitudes de siembra no es popular ni vinculante, sólo se accede por Internet y el Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (SENASICA) de la SAGARPA no toma en cuenta los comentarios ciudadanos críticos, aunque estén técnica y científicamente sustentados. Además el Estado ignora obligaciones y compromisos internacionales asumidos en materia de consulta a los pueblos indígenas, contenidos en el Convenio 169 de la Organización Internacional del Trabajo sobre Pueblos Indígenas y Tribales en Países Independientes (1991) y la Declaración de las Naciones Unidas sobre los Derechos de los Pueblos Indígenas (2007).

En las acciones legales de protección y defensa de derechos individuales y colectivos que hemos activado organizaciones civiles, de derechos humanos, de productores, científicos, etc., la justicia ha sido sistemáticamente negada sea por falta de interés jurídico, porque el acto impugnado aún no causa daño o por declararse incompetente la autoridad encargada de velar por la protección ambiental para conocer del peligro inminente a la integridad del maíz y sus parientes silvestres planteado en una amplia denuncia popular colectiva en 2010.¹⁰

¹⁰ Ver la Denuncia Popular ante la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente firmada por un centenar de organizaciones sociales, de científicos, agricultores, ambientalistas y defensores de derechos humanos en: <http://www.uccs.mx/> y <http://www.geaac.org/>. Para más detalles sobre diversos procesos jurídico-políticos emprendidos entre 2008 y 2010 (amparos, recursos de revisión, denuncia popular, etcétera) y su análisis crítico, consultar: Catherine Marielle y Lizy Peralta, 2011, *La participación política en una lucha de interés colectivo: La defensa del maíz. Experiencias y aprendizajes del Programa Sistemas Alimentarios Sustentables del GEAAC*, editado por el Grupo de Estudios Ambientales.

Algunos aprendizajes y horizontes para la defensa colectiva del maíz

Es de observarse que si bien en los agravios que planteamos en las demandas legales involucramos derechos colectivos y de los pueblos indígenas y campesinos, dueños de las semillas nativas, no han sido las colectividades ni los pueblos mismos, como sujetos de derecho, quienes denuncien ante tribunales nacionales, regionales, internacionales, entre otros, los impactos que la agricultura transgénica tiene en sus vidas: el riesgo que representa para la salud de todos los mexicanos el consumir maíz transgénico y productos que contienen transgénicos; así como el grado de atentado contra la semilla de identidad y de autodeterminación de los pueblos agricultores; la semilla milenaria que les ha dado autonomía agrícola y alimentaria; que hace milpa y hace pueblo...

Por lo tanto, como aprendizaje adquirido tras estos empeños por activar el sistema de justicia en México, vemos que la transformación de una determinada realidad y la defensa de lo colectivo siguen estando en manos de la fuerza social organizada, que pueda ver en los caminos legales disponibles herramientas para fortalecer sus luchas y demandas.

Recientes reformas constitucionales y legales podrán irse reconociendo en su utilidad y alcance para la defensa de los intereses y derechos colectivos y de los pueblos. Por ejemplo, la reforma constitucional en materia de derechos humanos en 2011 dejó asentado en el artículo primero que todas las personas gozarán de los derechos humanos reconocidos en la Constitución y los tratados internacionales celebrados por el Estado mexicano; al respecto, la Suprema Corte de Justicia de la Nación determinó que tanto el CDB como el Protocolo de Cartagena son tratados internacionales en los que se reconocen derechos humanos.¹¹ En la reforma en materia de amparo ha quedado ampliada la legitimación de quienes reclamen, a través del interés jurídico o del legítimo, la violación de derechos fundamentales reconocidos en tratados internacionales, independientemente de su carácter individual o social. Por su parte, la reforma constitucional relativa a acciones colectivas —que permite la formulación de demandas colectivas— ha dado lugar, entre otras, a una modificación de la ley ambiental por la cual se reconoce el

¹¹ Ver más detalles en: <http://www2.scjn.gob.mx/red/constitucion/11.html>

interés legítimo de las “personas físicas o morales de las comunidades posiblemente afectadas” para que impugnen por la vía administrativa o jurisdiccional los actos de autoridad que “originen o puedan originar un daño al medio ambiente, los recursos naturales, la vida silvestre o la salud pública” (artículo 180 de la LGEEPA).

Los Tribunales éticos o de conciencia son también un paraguas internacional que ha servido a diversos procesos en lucha para denunciar y visibilizar las injusticias cometidas por los Estados. Es el caso del Tribunal Permanente de los Pueblos que ha abierto un Capítulo México, en octubre de 2011, para juzgar las violencias ejercidas por el Estado mexicano en el contexto del libre comercio, en particular en contra del maíz, la soberanía alimentaria y la autonomía; con ello los sujetos agraviados podrán expresar y denunciar a las autoridades responsables de los múltiples atropellos ante jueces de notoriedad y ética mundialmente reconocidas.¹²

Según un grupo de científicos promotores de los transgénicos, encabezado por Francisco Bolívar Zapata, la sociedad debe crear una cultura de la bioseguridad y hacer un uso responsable de los organismos genéticamente modificados, mientras las empresas, los científicos a su servicio y el Estado mexicano evaden cualquier responsabilidad social, económica, civil, penal, ambiental, haciendo uso de leyes creadas a modo... Sabiendo de dónde venimos y lo que comemos, la única cultura a defender como pueblos organizados es la del maíz y su gente. Al Estado mexicano le toca cumplir con sus obligaciones, en irrestricto respeto a los derechos de los pueblos de México y del mundo, prohibiendo el maíz transgénico en todo el territorio nacional, donde existen incontables registros y procesos de diversificación continua de esta sagrada semilla, garante de nuestra soberanía alimentaria.

¹² Ver información en: www.tppmexico.org/



CAPÍTULO 16

LA PRODUCCIÓN DE MAÍZ EN MÉXICO Y LA INTRODUCCIÓN DE OGM: ¿MÁS INSEGURIDADES O SOBERANÍA ALIMENTARIA?



Beatriz De la Tejera H., George Dyer, Blanca Rubio, Joaquín Morales, Marta Astier, Narciso Barrera-Bassols, Eckart Boege y Ana de Ita

Importancia del maíz en México

El maíz es el cultivo más importante de México. En los últimos años se han producido de 20 a 24 millones de toneladas anuales en alrededor de 8 millones de hectáreas (Sagarpa, SIAP, 2012).

En particular, para 2008, sólo considerando la producción de maíz en grano, se reportó el volumen más alto de los últimos años, con más de 24 millones de toneladas en esa superficie. En 2009 disminuyó un poco, a 20.1 millones de toneladas, pero en 2010 se produjeron nuevamente más de 23 millones de tons (23,302,269.2 tons., de acuerdo con SIAP, 2012). Si se considera el forraje, tendríamos que agregar aproximadamente 12 millones de toneladas (SIAP, 2010). Más de la mitad de la superficie agrícola del país es sembrada con maíz por 3.1 millones de productores, 75% de ellos son campesinos con parcelas menores de cinco hectáreas (SIAP, 2010). Son los responsables de gran parte de la producción nacional de maíz.

Las políticas gubernamentales mexicanas que afectan la producción y comercialización agrícola, y en particular de maíz, han sufrido profundos cambios en años recientes. A partir de 1989 se impulsó un programa de drásticas reformas agrícolas para la “modernización del campo” (SARP, 1989) como parte de las reformas estructurales de la

economía mexicana que tuvieron entre sus elementos centrales la reducción de la intervención del Estado en la agricultura, la privatización de empresas paraestatales dedicadas a la producción de insumos y la apertura comercial, cuyo corolario fue el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica (TLCAN), en vigor desde 1994.

Entre 1989 y 1993, la reducción de la protección a la mayoría de los cultivos básicos y la eliminación del sistema de comercialización estatal y los subsidios implícitos en los precios de garantía provocaron un cambio en el patrón de cultivos. Se redujo la producción de la mayoría de los granos básicos —arroz, trigo, sorgo, soya, cártamo, ajonjolí, algodón—, por lo que los productores se refugiaron en el maíz que aún se comercializaba a través de Conasupo, que mantenía precio de garantía y permiso previo de importación. Al aumentar la superficie sembrada en tierras de riego con altos rendimientos, la producción de maíz pasó de 10.9 millones de toneladas en 1989 a 18.1 en 1993. El precio de garantía se eliminó también para el maíz en 1995, pero a pesar de ello, los precios relativos del maíz siguieron menos desfavorables que los de los otros productos.

Desde la perspectiva de los negociadores del TLCAN, la actividad de los productores con predios de menos de cinco hectáreas no sería competitiva; 4.7 millones de hectáreas deberían ser reconvertidas a otro cultivo y se dejarían de producir 7.1 millones de toneladas de maíz en esa superficie. La pequeña producción campesina de maíz debía desaparecer, a pesar de que aportaba más de la mitad de la producción nacional y destinaba la mitad de lo producido para autoconsumo.

Pero la realidad fue diferente. A pesar de las reformas y el TLCAN, entre 1989 y 2007 la producción de maíz creció de manera sostenida, a una tasa media de 4.4% anual, alcanzando 24.4 millones de toneladas en 2008. El aumento en el volumen de producción se ha dado en función del aumento en el rendimiento, ya que la superficie sembrada sólo se incrementó en poco más de 500 mil hectáreas en el mismo periodo (SAGARPA, SIAP, 2012). La disparidad de rendimientos entre regiones, sistemas tecnológicos, ciclos productivos y modalidades de irrigación da cuenta del sistema de agricultura bimodal que caracteriza la agricultura mexicana, en la que coexisten formas de producción tradicionales, que son intensivas en mano de obra, con formas de producción intensivas en capital e insumos químicos. Como ejemplo, observamos que en 2007 la producción de maíz de temporal registró un rendimiento promedio de 2.2 toneladas por hectárea, en tanto que la de riego ascendió a 8.2

toneladas por hectárea en promedio (SAGARPA, SIAP, 2008). Para 2010, estos datos no han variado significativamente, dado que los rendimientos promedio de maíz en temporal sigue en 2.21 ton/ha. y 7.50 ton/ha en condiciones de riego (SAGARPA, SIAP, 2012). Los rendimientos pueden variar en un rango que va de 0.8 a 19 toneladas por hectárea, dependiendo de las condiciones de producción.

Aun sin apoyo gubernamental, la producción de temporal, que se realiza principalmente durante el ciclo primavera-verano y a la que se dedican la gran mayoría de productores del país, aportó 12.6 millones de toneladas en 2007, un poco más de la mitad de la producción total de ese año. El grueso de los productores campesinos (2.3 millones) que siembran en parcelas menores a cinco hectáreas se ubican en tierras de temporal.

Después de cincuenta años de Revolución verde “en el país, los híbridos o variedades mejoradas de maíz no han logrado conquistar el 85 por ciento del territorio que se siembra con maíz nativo” (Cimmyt, Inifap, CNBA, 1995). Según Prabhu y Panderó (1999) “menos del 50 por ciento de los pequeños productores de maíz en las zonas tropicales utilizan semillas mejoradas, el resto sigue utilizando variedades locales o tradicionales de bajos rendimientos”. La diversidad de climas y condiciones geográficas, además de las restringidas posibilidades económicas de la mayoría de los productores nacionales, ha impedido que las variedades híbridas o mejoradas se generalicen, a la par que ha mantenido una gran riqueza de razas y variedades de maíz.

El intercambio de semillas entre productores y regiones es también una constante y distintos autores han identificado en estudios de caso realizados en algunas regiones del país más de 11 variedades de maíz en una parcela (Louette, *s.f.*; De la Tejera, 1997 y 2000).

Evolución de la Política pública para el sector maicero

La importancia del maíz en México ha permitido la intervención continua del gobierno por más de cincuenta años. La política para el sector ha variado sustancialmente en ese lapso (Appendini, 2001; Appendini, García B. y De la Tejera, 2003 y 2008). A continuación se describen muy brevemente los cambios principales en la forma de intervención del gobierno a lo largo de las últimas décadas, hasta la apertura total formal del sector al comercio en 2008, para poder ubicar cómo la situación

actual de dualidad en la producción y comercialización son producto de un proceso en el que el Estado ha tenido un papel importante.

A partir de los años sesentas, el objetivo formal del Estado fue proteger a los consumidores y productores de bajos ingresos por medio de la regulación del mercado. Un elemento central de esa regulación fue la participación de la Compañía Nacional de Subsistencias Populares (CONASUPO) como principal comprador, pagando un precio controlado o de garantía (Appendini, 2001; Appendini, 2003; Casco, 1999; Yúnez-Naude, 2003). Aunque el precio de garantía tenía vigencia en todo el territorio nacional, el maíz debía transportarse a las bodegas de CONASUPO para ser vendido. Como resultado, menos de una quinta parte de la producción nacional era adquirida por esta empresa. En algunas zonas, sin embargo, su participación ejercía una presión significativa sobre el precio en el mercado abierto (Heath, 1987). De acuerdo con las cifras oficiales, el precio de garantía guardó siempre una relación estrecha con el precio al productor. No obstante, muchos productores que debían recurrir a intermediarios para vender sus cosechas recibían solo una fracción de ese precio.

El precio pagado por CONASUPO y su participación en el mercado variaron sustancialmente.² Su participación ascendió brevemente a más de 40% en 1993, reduciéndose a 7.4% en 1995 (Appendini, 2001; Yúnez-Naude, 2003). A partir de entonces, CONASUPO se convirtió en comprador de última instancia, principalmente en zonas con problemas de comercialización o alejadas de los centros de consumo, como Chihuahua y Chiapas (Casco, 1999). Sin embargo, su influencia en el precio se había reducido irremisiblemente desde 1994 con la sustitución parcial de los precios de garantía por apoyos directos al productor.

Otro componente de la intervención de CONASUPO en el sector consistió en el control de importaciones. Esa atribución no sólo le permitía mantener elevado el precio al productor, controlando el volumen comercializado en el mercado doméstico, sino también hacer uso de las importaciones adquiridas a menor precio para satisfacer sus propias obligaciones en el abasto de alimentos (Appendini, 2001; Casco, 1999; Yúnez-Naude, 2003). Al igual que su actividad como comprador, la participación de CONASUPO en las importación de maíz disminuyó sig-

² Entre 1965 y 1992 la participación de CONASUPO en el mercado fluctuó entre 20 y 13% de la producción (Appendini, 2001).

nificativamente a mediados de los noventa, pasando de 99% en 1976 a 38% en 1993 (Yúnez-Naude, 2003). Su influencia sobre las importaciones se abolió definitivamente en 1994, con la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

Además de las funciones anteriores, CONASUPO participó hasta 1998 en el procesamiento, almacenamiento y distribución del maíz (Ávalos-Sartorio, 2006).³ A partir de 1980, la empresa distribuyó grano y harina de maíz directamente a los consumidores a través de la cadena de tiendas DICONSA y su programa de Abasto Rural. CONASUPO también administró subsidios a la industria de la harina de maíz y la tortilla a lo largo de dos décadas. El grano se vendía a la industria nixtamalera a precios subsidiados, mientras que los productores de harina recibían una compensación por sus compras directas en el mercado (Appendini, 2001; Casco, 1999). Ambos subsidios se establecían de forma que estas industrias pudieran lograr una ganancia razonable vendiendo tortillas y harina a precios controlados. A principio de los ochentas, el subsidio representaba 30% del precio del grano, pero este porcentaje se redujo a 3% una década más tarde (Appendini, 2001). A partir de 1995, el esquema fue sujeto a reformas adicionales (Casco, 1999). Entre otras medidas, se establecieron estrictos límites al volumen de maíz que CONASUPO adquiriría para satisfacer sus obligaciones con DICONSA y la industria nixtamalera (Casco, 1999). Al mismo tiempo, el control del precio de la tortilla se relajó gradualmente hasta implicar la virtual abolición de los subsidios en 1998.

La eliminación formal del subsidio a la tortilla, en enero de 1999, significó el desmantelamiento y liquidación de CONASUPO. En opinión de algunos analistas, esta decisión fue consecuencia inevitable de los problemas presupuestales y administrativos de la empresa, además de los compromisos adquiridos por el país en materia de comercio internacional (Yúnez-Naude, 2003; Ávalos-Sartorio, 2006). En opinión de los encargados de llevarlo a cabo, el proceso simplemente constituyó la culminación de la reforma modernizadora del sector de granos básicos y oleaginosas, iniciada a mediados de los ochentas (Casco, 1999). La reforma constituyó un giro diametral en los objetivos del gobierno, que a partir de entonces buscó integrar a los productores mexicanos a

³ De acuerdo a Casco (1999), en 1999, alrededor de 90% de las instalaciones de la paraestatal Bodegas Rurales Conasupo (BORUCONSA) habían sido transferido a productores, ejidos y autoridades locales.

los mercados internacionales a través de la liberalización del comercio y la política agrícolas. Aunque la cúspide del proceso de liberalización se dio en 1994, con la entrada en vigor del TLCAN, el gradual desmantelamiento de CONASUPO y la eliminación de los precios de garantía jugaron un papel igualmente importante. En el esquema del gobierno, la apertura comercial volvería más eficiente al sector, permitiéndole al país satisfacer el exceso de demanda con importaciones, mientras que la desaparición de CONASUPO facilitaría la participación del sector privado en el almacenamiento y comercialización del grano (Casco 1999).

Un propósito fundamental de la reforma del sector agrícola fue precisamente reducir la intervención del gobierno en los mercados. El objetivo no era eliminar los apoyos al sector, sino desacoplarlos de la producción, lo que implicó la sustitución del subsidio a los precios por apoyos directos al productor. Se decía que estos apoyos no tendrían influencia en la extensión cultivada o el volumen cosechado pues, en teoría, no están condicionados; es decir, no son subsidios a la producción.

Un indicador común de la intervención gubernamental en el mercado es el Apoyo al Precio de Mercado (APM), el cual refleja la brecha entre el precio doméstico al productor y el precio de importación.⁴ Se ha señalado que entre 1986 y 1993 el APM del maíz aumentó considerablemente gracias a la gestión de CONASUPO (Yúnez-Naude, 2003; OECD, 2006). Sin embargo, esta intervención no fue suficiente para mantener el precio real al productor, que cayó notablemente en ese lapso como resultado de la inflación. Más aún, entre 1993 y 1996 el APM declinó significativamente e incluso se tornó negativo cuando el precio de garantía se situó por debajo del internacional tras la devaluación del peso a fines de 1994 (Yúnez-Naude, 2003). Aunque esto implicó la virtual eliminación de la intervención gubernamental en el mercado de maíz en 1995, el precio al productor mantuvo su valor ese año y el siguiente gracias a la presión ejercida por el precio internacional. No obstante, para 1996 el precio al productor había perdido ya 17% del valor que tuvo en 1980. Debido a su dependencia del precio del maíz en los Estados Unidos, el precio al productor perdería 53% adicional entre 1996 y 2006.

⁴ El Apoyo al Precio de Mercado (mejor conocido como *Market Price Support* o *MPS*) es un indicador del valor monetario anual de las transferencias brutas de los consumidores y contribuyentes fiscales a los productores agrícolas, transferencias surgidas de las políticas públicas que crean una discrepancia entre los precios de referencia para un producto agrícola y los precios domésticos al productor (o farm gate) (OECD 2001).

Aunque el TLCAN no estableció compromisos en torno a la reducción del apoyo a los precios, la administración de Zedillo se propuso abolirlos completamente y permitir que la producción nacional se determinara a partir de las señales del mercado norteamericano (Casco, 1999).⁵ Una parte importante de su estrategia radicaba en fomentar la orientación a los mercados y asegurar el buen funcionamiento de los mismos. En razón de la ausencia de infraestructura adecuada, desde 1991 fue creado Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria (ASERCA), un nuevo órgano administrativo que habría de asumir algunas funciones de CONASUPO, apoyando la comercialización de granos básicos en zonas excedentarias. Inmediatamente tras su creación, ASERCA instrumentó subsidios a la comercialización de trigo, sorgo y soya, extendiendo su cobertura al maíz a partir de 1996 (Ávalos-Sartorio, 2006; Casco, 1999). Esto representó el regreso formal de la intervención gubernamental al sector maicero, que pronto se convirtió en el principal receptor de una nueva gama de subsidios (Yúnez-Naude y Dyer, 2006).

A la fecha, ASERCA subsidia la comercialización, pignoración, cobertura e incluso la exportación del grano bajo el rubro de “apoyos compensatorios”. Criticado por su sesgo a favor de las grandes empresas, el programa de comercialización fue sustituido en 2001 por el de Ingreso-Objetivo, que desde entonces representa el principal subsidio a la producción de maíz.

El propósito formal del Programa Ingreso-Objetivo es darle certidumbre al productor de granos en zonas excedentarias y garantizarle un ingreso mínimo. Es decir, el programa protege a los productores tanto de las fluctuaciones en el mercado, como de la competencia de las importaciones. Como su nombre sugiere, Ingreso-Objetivo establece un ingreso fijo por tonelada de producto, lo cual claramente constituye un subsidio al precio al productor. ASERCA calcula el precio al que la industria procesadora podría comprar maíz importado libre de aranceles, denominado precio de indiferencia, y otorga un subsidio a los productores igual a la diferencia entre este precio y el ingreso objetivo. Al igual que los precios de garantía, Ingreso-Objetivo introduce, desde la perspectiva ortodoxa económica, distorsiones al mercado (Ávalos-

⁵ El desmantelamiento de la CONASUPO tuvo entre sus propósitos el impedir la reinstauración del control de precios (Casco 1999).

Sartorio, 2006). Aunque desde el punto de vista de la industria procesadora, los precios de indiferencia promueven la integración de los precios domésticos y de importación. Sin embargo, al mismo tiempo, su respuesta deprime el precio al productor para aquellos fuera de la cobertura del programa. Se ha estimado que en 2007 el precio se deprimió 2.5% (Sumner y Balagtas, 2007). El programa Ingreso-Objetivo reestableció los subsidios al precio con el fin de dar certidumbre al productor de granos y garantizarle un ingreso mínimo. Sin embargo, la distribución de su apoyo es arbitraria, ya que brinda enormes beneficios a un grupo muy reducido de participantes en perjuicio del resto de los productores comerciales y de los contribuyentes (Sumner y Balagtas, 2007). Ya que el esquema del programa carece de una justificación económica o social clara, no es posible descartar que su justificación sea política o ideológica.

La cuestión de la “distorsión de los mercados” es un problema esencialmente económico, pero con implicaciones sociales. La intervención del gobierno genera ineficiencias en las relaciones productivas que tienen un costo. Indudablemente, un resultado eficiente no necesariamente es óptimo; el costo de la intervención puede justificarse con fines redistributivos. No obstante, no toda intervención tiene un saldo favorable. Antes de la reforma, la gestión de CONASUPO protegía a los consumidores urbanos, pero su impacto sobre los rurales era desfavorable (Appendini, 2001). Se esperaba que la liberalización redujera los precios al consumidor en zonas rurales, manteniéndolos bajos en las ciudades. Desde un inicio, las industrias del nixtamal y harina de maíz tuvieron acceso continuo a las cuotas libres de arancel. Sin embargo, el efecto anticipado en el nivel de precios nunca se materializó: el precio real de la harina de maíz y la tortilla aumentó constantemente desde 1994.

Desde luego que el control de precios también beneficiaba a los productores maiceros comerciales, particularmente a los más productivos, pero no a los de autoconsumo. A partir de 1994 cobraron singular importancia los apoyos directos al productor. Uno de los principales programas de la reforma fue el de Apoyos Directos al Campo o PROCAMPO. La mayoría de los analistas considera PROCAMPO como una compensación por la alineación de los precios domésticos a los internacionales. PROCAMPO resultó en un esquema de pagos uniformes por hectárea, cuyo objetivo explícito fue sencillamente transferir recursos

en apoyo de la economía de los productores rurales, mejorar el nivel de ingreso de productores de autoconsumo y elevar el nivel de vida de las familias rurales. Sorprende, por lo mismo, que sólo una cuarta parte de los recursos del programa se destina realmente a familias rurales (Dyer, 2007).⁶ No obstante que el programa incorpora agricultores de autoconsumo, la mayor parte de los apoyos se otorga a grandes productores dentro y fuera del medio rural. Como podría esperarse, la distribución de apoyos es notablemente regresiva (Banco Mundial, 2005). Ésta y otras contradicciones de PROCAMPO se deben a que algunos de sus objetivos —los políticos— no son explícitos (Appendini, 1996).

En general, es posible afirmar que en la política agrícola mexicana no hay una correspondencia clara entre objetivos explícitos y acciones concretas, así como tampoco existe una diferenciación entre la política productiva y la social.

En la administración de Salinas y Zedillo prevaleció la idea de separar las políticas productiva y social. Se dejó de canalizar la asistencia social a través del precio del maíz y se fomentó la reconversión productiva, que sustituiría el maíz por otros cultivos. Al mismo tiempo se abandonó el apoyo al sector como eje central de la política alimentaria, dejando que el mercado determinara cuánto maíz se producía en el país. En la administración de Fox, la soberanía y la seguridad alimentaria de la nación volvieron a ser un objetivo de la política, al menos nominalmente. Así lo estableció en 2001 la Ley de Desarrollo Rural Sustentable. Adicionalmente, en su Plan Nacional de Desarrollo se estableció la necesidad de fomentar la producción de cultivos básicos y la seguridad alimentaria. Sin embargo, son pocos los recursos que se destinan al sector maicero.⁷ Aunque en años recientes se destinó un monto creciente al Programa Especial de Seguridad Alimentaria (PESA), ha sido un programa pequeño en donde el maíz tiene un papel insuficiente aún respecto a los requerimientos reales nacionales. Es decir, que al instaurarse el mercado libre en 2008, el fomento a la producción nacional de maíz se concentró en la acción de ASERCA, cuya gestión se centró en una fracción reducida de productores y de superficie cultivada.

⁶ El resto corresponde a individuos y empresas que no son miembros de la población rural en un sentido estricto.

⁷ Se estima que los subsidios al maíz representaban 77% del total de los apoyos agrícolas a principios de los años noventa, pero sólo 20% en 2006 (Ávalos-Sartorio, 2006).

Mercados de maíz y liberalización en el TLCAN: primero una ruta de dependencia y luego una de contaminación con transgénicos

Como es de conocimiento generalizado, la producción maicera de Estados Unidos, Canadá y México presenta profundas asimetrías en sus diferentes aspectos. Por ejemplo, en términos del destino interno de la producción nacional, el sector pecuario consume 75% de la oferta de Estados Unidos; de manera contraria, alrededor de 90% de la oferta de maíz en México se destina al consumo humano, contra 17% en Canadá y 22% en Estados Unidos. Con el TLCAN, conscientes de las enormes diferencias entre países, México se comprometió a una liberalización gradual del comercio de maíz mediante un sistema arancel-cuota.

Se sabía que en relación a la producción de maíz, México no podía competir con la producción de Estados Unidos y Canadá, pero se consideraba que dado que aquellos países contaban con ventajas comparativas sobre México, para producir a precios más bajos, lo más conveniente era comprar a Estados Unidos (a precios que se estimaban se mantendrían bajos y por debajo de los precios nacionales), y fomentar la reconversión de las áreas maiceras a la producción de cultivos donde fuésemos más competitivos. Para dar tiempo de que este proceso de reestructuración se diera, y buscando que mientras tanto los productores maiceros no competitivos no fueran tan seriamente afectados, se fijó un período de 15 años de desgravación gradual y se creó PROCAMPO, como programa compensatorio, que ya fue descrito.

El sistema que se estableció durante este periodo de 15 años fue el de arancel-cuota, consistente en el establecimiento de una cuota libre de aranceles y un arancel fijo para las importaciones de sobre-cuota. En el marco del tratado se acordó ampliar anualmente dicha cuota y disminuir los aranceles sobre-cuota hasta la apertura total del mercado en 2008. Este esquema de desgravación, como se señaló, pretendió permitir que los productores se adaptaran gradualmente al libre mercado. A lo largo de quince años, el mercado estaría libre de la intervención gubernamental y el volumen de las importaciones predeterminado (Casco, 1999). No obstante que las importaciones inevitablemente presionarían el precio doméstico a la baja, se preveía que los agricultores podrían responder a estos cambios con suficiente anticipación. El esquema se siguió los primeros dos años, y en 1996 el gobierno federal decidió autorizar importaciones libres de arancel por encima de la cuota, con

la justificación de paliar los efectos de una sequía en el norte del país (Casco, 1999).

A partir de entonces, y hasta 2008, el gobierno utilizó la sobrecuota de manera regular como instrumento de política. Según las autoridades responsables, el volumen de la sobrecuota se determinaba bajo una estricta disciplina, evitando cualquier efecto negativo en el precio doméstico (Casco, 1999). En opinión de algunos analistas, por el contrario, la sobrecuota se determinó por medio de un proceso de negociación política que pretendía reducir el precio del maíz para asegurar la competitividad de los sectores pecuario y alimentario (Avalos-Sartorio, 2006; Yúnez, 2003).

Adicionalmente a la determinación de la sobrecuota para beneficiar a ciertos grupos específicos de poder dentro del sector agroalimentario, el arancel que se fijó para ella no fue respetado por las instancias gubernamentales correspondientes y no se pagaron los aranceles correspondientes a los volúmenes excedidos fuera de cuota durante los años definidos en el TLCAN como período para ejercer este arreglo. Se generaron fuertes distorsiones en los mercados domésticos y se benefició directamente a sectores específicos de la cadena maíz-tortilla, al mismo tiempo que se ocasionaron impactos negativos para la mayoría de los productores nacionales. El destino de las importaciones, de acuerdo con el consejo coordinador de la industria de fabricantes de alimentos balanceados para animales (2003, en De la Tejera *et al.*, 2007), fue principalmente la actividad pecuaria, con un peso importante hacia la industria de alimentos balanceados y la industria almidonera. Del volumen total ejercido —por ejemplo, en 2002—, más de la mitad (55%) se destinó al sector pecuario, y de ese volumen, la mitad se orientó a las empresas de alimentos balanceados. La industria almidonera recibió otra tercera parte de estas importaciones maiceras. Para 2006, que es el último dato disponible, la distribución de los cupos se mantenía prácticamente igual, 54 % del volumen destinado al sector pecuario, 36% al sector almidonero (Banco de México, 2006).

Más allá de una política indiscriminada de liberalización, esta política benefició fuertemente a ciertos grupos empresariales, detrás de los cuales, de acuerdo con Lasala (2005, en De la Tejera *et al.*, 2007), se identificaban claramente importantes intereses transnacionales. En la lista oficial de los importadores de maíz, que además formaban parte del Comité que decidía las sobrecuotas, estaban registradas las siguientes empresas transnacionales: Anderson Clayton, Bachoco, Continental,

Cargill,⁸ Pilgrims Pride y Purina, así como Maseca y Minsa, que dominan el mercado de harina de maíz (la empresa Archer Daniels Midland cuenta con una proporción significativa de las acciones de Maseca).

Mientras tanto se beneficiaba con estas medidas a las grandes corporaciones pecuarias e industriales, se generaba un proceso creciente de dependencia de las importaciones. Las importaciones de maíz provenientes de Estados Unidos se incrementaron dramática y sistemáticamente, pasando de 152 mil toneladas, en 1993, a más de 9 millones en 2008. La cantidad de 2009 aún no se registra oficialmente, pero la tendencia indicada con la cifra reportada hasta septiembre 2009 muestra que las importaciones no han disminuido hasta la actualidad (Cuadro 1). Las importaciones de maíz entre 1994 y 2003 promediaron 516 millones de dólares, rebasaron 800 millones de dólares en el 2004 y 2005, a partir de 2006 representaban 1,217 millones de dólares y, debido al aumento de los precios de los alimentos, 1,819 millones de dólares en 2007.

A partir de la firma del TLCAN, el gobierno mexicano ha profundizado la dependencia alimentaria del país. Mientras entre 1991 y 1993, con una producción menor a la actual, las importaciones se redujeron y se alcanzó la autosuficiencia alimentaria, actualmente poco más de 30% del consumo nacional de maíz proviene de importaciones (ver Cuadro 1). El acceso indiscriminado al maíz de Estados Unidos presionó los precios internos a la baja. Los precios reales a los productores se redujeron en 59% entre 1991 y 2006 para permitir la expansión de las industrias avícola y porcícola que lo utilizan como alimento. Además las dos mayores compañías mexicanas fabricantes de harina de maíz, Maseca y Minsa, se han posicionado en el mercado mexicano y extranjero.

Durante los primeros años del actual siglo, México se colocó como el segundo mercado más grande de maíz para Estados Unidos, únicamente después de Japón. La mayoría de las importaciones son de maíz amarillo, que se utilizan como forraje para ganado y las importaciones

⁸ Cargill opera desde México y ha hecho un buen uso de las ventajas que tiene México en mano de obra. Esta compañía tiene establecida su cadena de producción alimentaria, desde la producción de semillas hasta el procesamiento de alimentos de consumo final, pasando por la comercialización y el transporte de granos, la molienda y fabricación de harina, y la ganadería por contrato de puercos, aves, carnero y vacuno, que utilizan sus propios alimentos balanceados. En 1998, Cargill formó una asociación con Monsanto, compañía que controla 85% del mercado mundial de las semillas transgénicas de granos y líder en la producción de agroquímicos.

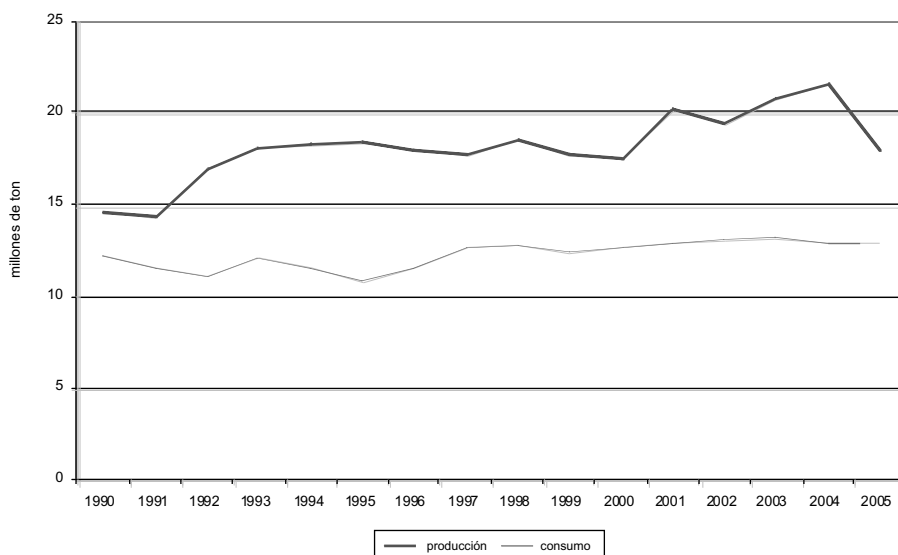
Cuadro 1. Producción nacional e importaciones de maíz en México (1991-2009)

Año	Importaciones (miles de ton)	Producción (miles ton)	Impor/producción (%)
1991	1421.7	14251.5	10.0
1992	1305.7	16929.34	7.7
1993	210.6	18125.26	1.2
1994	2476.6	18235.83	13.6
1995	2686.9	18352.86	14.6
1996	5842.7	18023.63	28.2
1997	2518.9	17656.26	31.3
1998	5211.9	18454.71	30.5
1999	5545.8	17706.38	30.7
2000	5346.6	17556.9	28.6
2001	6174.1	20134.3	29.3
2002	5512.9	19299.24	25.1
2003	5764.2	19652.42	29.4
2004	5518.7	22000	25.1
2005	5683.8	19338.71	29.4
2006	7567	21893.21	34.6
2007	7860	23512.75	33.4
2008	9134	24410.28	37.4
2009	7178	24410.28	29.4

Fuente: Elaboración propia a partir de SAGARPA-SIAP, 2010.

de maíz blanco para consumo humano no son significativas, incluso se redujeron a partir del año 2000. Sin embargo, debido al desorden existente en los mercados, no hay control respecto del ingreso del producto, ni su destino. Así, cantidades imprecisas de maíz amarillo forrajero se ha orientado a consumo humano, y maíz blanco para consumo humano se ha desviado al consumo animal, y no hay registro de ello. Lo paradójico es que las cantidades de maíz demandadas para consumo humano pueden ser perfectamente satisfechas con la producción nacional (ver Figura 1). Es decir, se ha importado maíz para cubrir un déficit fuera del consumo humano. Pero al hacerlo se han desordenado completamente los mer-

Figura 1. Producción y consumo alimenticio humano de maíz en México.



Fuente: Elaboración propia a partir de datos de FAOSTAT, 2007
(en De la Tejera, *et al.*, 2007)

cados nacionales porque el maíz amarillo importado ha distorsionado los precios y la orientación de la producción doméstica del maíz blanco; además, parte del maíz nacional blanco se ha destinado a la demanda industrial de maíz amarillo, mientras que parte de la demanda de maíz blanco para consumo humano (sea en grano, harina o tortilla), ha sido cubierta con maíz amarillo de alta calidad (De la Tejera *et al.*, 2007).

Las empresas transnacionales han sido las principales beneficiarias de la reducción artificial de los precios internacionales de los granos básicos con que se han alineado en gran medida los precios internos de México a los internacionales. Como los precios no cubren los costos de producción, los productores deben ser compensados con subsidios, pero las compañías pueden abastecerse de ellos a precios irrealmente bajos. Se calcula que el precio internacional de maíz en 2003 se ubicaba 32% por debajo de sus costos de producción en Estados Unidos.

Otro aspecto relevante del comercio de maíz entre 2003 y 2007 fue la importación de grandes volúmenes de maíz quebrado, libre de

arancel, para la elaboración de alimentos balanceados. Se estima que estas importaciones también deprimieron el precio doméstico del grano sensiblemente (Westhoff y Thompson, 2007).

La crisis de la tortilla fue la muestra del fracaso de las políticas para la agricultura y la alimentación impulsadas por más de 25 años por los sucesivos gobiernos. La escasez de maíz en los primeros meses del año 2007 fue producto principalmente de tres factores:

- 1) la especulación de los grandes monopolios que dominan actualmente el mercado del maíz y la tortilla en México;
- 2) los compromisos del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica de abrir totalmente el sector agropecuario a las importaciones de Estados Unidos a partir del 1 de enero del 2008, y que en 2007 provocaron un aumento en la dependencia de las importaciones de Estados Unidos; y
- 3) el aumento de los precios del maíz en el mercado internacional debido al aumento en la demanda para producir etanol, pero que en una economía abierta tienen gran influencia en el mercado doméstico.

El aumento de precios en México no se debió a una falta de producción nacional, ya que en 2006 se produjeron 21.9 millones de toneladas, que puede considerarse una producción récord. También se importaron volúmenes récord de maíz: 7.3 millones de toneladas de maíz amarillo y 254 mil toneladas de maíz blanco, que llegan a 10.3 millones de toneladas si se toman en cuenta las importaciones de maíz quebrado. En el año de crisis por desabasto de maíz, las existencias de maíz alcanzaron los mayores volúmenes.

Las comercializadoras acapararon las cosechas de 2006 y, a principios del 2007, bajo pretexto de escasez de grano en un momento de aumento de los precios internacionales y de bajos inventarios, elevaron especulativamente los precios. El último año de vigencia del periodo de transición del TLCAN, las empresas transnacionales que controlan el mercado de los productos básicos en México ejercieron su capacidad monopólica y actuaron en contra de productores y consumidores.

La crisis de la tortilla mostró que uno de los supuestos básicos del TLCAN, el de beneficiar a los consumidores sin importar el sacrificio de los campesinos, era una falacia.

La liberalización comercial descrita en el caso particular del maíz, además de dependencia, vulnerabilidad, desprotección a la producción nacional y, en mayor medida, a los pequeños productores, ha traído otras preocupantes consecuencias ambientales que ponen en alto riesgo el capital natural nacional y representa una amenaza a la biodiversidad genética. Las importaciones de maíz de Estados Unidos son la fuente más probable de contaminación de maíz nativo con transgenes. Desde 1995 los especialistas nacionales e internacionales de maíz, convocados por el CIMMYT, el INIFAP, y el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (1995), preocupados porque la liberalización comercial del cultivo de maíz *Bt* ocurriría en Estados Unidos en 1996 (dos empresas habían ya recibido la aprobación del gobierno), analizaron el “Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico”, y señalaron que “si el maíz transgénico tiene éxito en Texas o California, es altamente probable que la semilla sea trasladada, legal o ilegalmente, a otros lugares entre los que se incluye México [...] si en Estados Unidos se desregula el maíz transgénico, lo más probable es que éste llegue a México en un tiempo muy corto. Aun cuando parte de ese maíz transgénico no se adaptara bien a México es casi seguro que habrá polinización cruzada con el tiempo” (CIMMYT *et. al., op. cit.*).

A fines de 1998, los científicos especialistas de maíz nucleados en torno al CNBA de Sanidad Vegetal en la Secretaría de Agricultura decidieron suspender la experimentación en campo de cultivos de maíz transgénicos. El Comité estableció una moratoria *de facto* al no aceptar nuevas solicitudes para realizar pruebas de campo.

México mantuvo durante años una doble política hacia el maíz transgénico; por una parte existía la moratoria que impedía su siembra, pero por otra se permitía la entrada de importaciones de maíz provenientes de Estados Unidos sin ningún requisito de segregación o etiquetado. Estados Unidos se ha negado a segregarse el maíz transgénico del convencional argumentando la elevación de costos. México, como ya se mencionó, es el segundo mercado para las exportaciones de maíz de Estados Unidos, y por ello las importaciones de maíz provenientes de Estados Unidos, que muy probablemente contienen maíz convencional mezclado con maíz transgénico, han constituido un riesgo permanente de contaminación genética, sin ninguna regulación Estatal.

Dualidad y multiplicidad de la producción maicera en México

Si el panorama de la problemática del maíz ha sido cada vez más difícil —si consideramos la política pública aplicada durante las últimas décadas y los efectos de los procesos de liberalización y la cada vez mayor dependencia—, el panorama es cada vez más complejo al identificar que la agricultura de maíz es un mosaico de diversidad en el territorio nacional. Para abordar de manera general estas condiciones, indicamos algunos datos y condiciones que caracterizan la producción fundamentalmente comercial del maíz en una región nacional, Jalisco, para posteriormente narrar también brevemente el paisaje campesino de regiones del sur del país.

Como punto de partida nos ha sido útil ver la producción de maíz en dos tipos de producción: la tradicional, con alto empleo de mano de obra, poco uso de insumos de origen industrial y consumo con destino fundamentalmente local; y la moderna, que se caracteriza por su requerimiento de insumos (fertilizante, plaguicidas y herbicidas), el uso de maquinaria para laborarlo y su destino hacia las ciudades. Si bien este contraste nos permite destacar la existencia de una polaridad social angustiante en México, es un enfoque que nos limita para ver una característica histórica del maíz mexicano: su diversidad y flexibilidad.

Ya se ha recordado reiteradamente el vasto número de palabras que tenían las antiguas lenguas mesoamericanas para nombrar los tipos de maíces, los estados de desarrollo y los componentes de una milpa y sus usos. Contemplar un cartel de feria del maíz con sus múltiples colores y formas, es más que una metáfora de la diversidad que los sentidos nos invitan a recrear.

Cuando se habla de maíz en México, por lo menos nos referimos a cuatro cadenas de producción/consumo: la cadena ganadera (forraje verde o seco), la de grano comercial, los maíces especializados (pozolero, elotero), y el autoabasto (situación mixta). Cada una tiene su lógica (precios, cultura, manejo agronómicos, mercados, e incluso agroambientes), su relación con las políticas que hemos esbozado muy brevemente, y una diversidad de tipos de productores y consumidores. Aunque también entre ellos hay vasos comunicantes importantes.

Un cálculo moderado estima una superficie aproximada de 110,000 hectáreas con rendimientos cercanos a las ocho toneladas (repetimos: temporal tecnificado reportado para el año de 2007 por INEGI, 2009), lo que significa un poco menos de un millón de toneladas. Estamos ha-

blando de los dos distritos con mayor productividad y producción del estado de Jalisco que son La Barca y la región Valles Centrales. Con la región de los Altos de Jalisco que produce más de seiscientas mil toneladas (614 973) en 110,000 hectáreas, se completa el cuadro del grano comercial de la entidad. En la década del 2000 a 2009 se estima que 1.5 millones de toneladas de maíz grano entran al circuito comercial de los apoyos (ASERCA en 2009 cubrió 1,100,000 toneladas con cobertura de precios). En resumen, con doscientas mil hectáreas se produce más de la mitad del grano de Jalisco.

Lo que nos remite situarnos en el otro abanico de uso territorial: 400 mil hectáreas con rendimientos de 5 toneladas en promedio (2 millones de toneladas), dedicadas a grano para la familia y los animales. Y si bien, no aparecen en las estadísticas, el consumo cotidiano de la población (cinco millones de personas en zona metropolitana), tanto de pozole como de elote en verdura nos refleja la importancia de nichos específicos. Ello sin pormenorizar las diez variedades de maíces que se cultivan en entidad y que poseen diferentes usos y destinos en el nivel de las comunidades y economía campesina. Por lo que, finalmente, atisbamos el conjunto de colores del maíz jalisciense. Un dato adicional contundente: Jalisco importa 1.5 millones de toneladas de maíz amarillo para sus alimentos balanceados (ASERCA 2003). Junto con el estado de México, en el estado se encuentra la más importante estructura de transformación de maíz y derivados del país, cuestión que no sucede en Sinaloa.

Algo que es muy importante señalar referido al manejo específico de las cifras arriba anotadas: hay vasos de comunicación importantes entre el forraje, el grano comercial, el maíz de la casa, y el maíz para la celebración.

Las estadísticas incompletas (no es negocio la información en México), las políticas pensadas globalmente o dirigidas directamente hacia un territorio y tipo de productor (vrgs Sinaloa), han sido poco hábiles para comprender una realidad en movimiento. Un esquema dual de análisis poco nos dice del maíz campesino que se decide moler con todo y rastrojo porque el temporal no fue bueno. De las oportunidades que el maíz especializado abre a los productores medios como es el caso de la hoja de maíz que se vende a los Estados Unidos a partir de su producción en zonas de buen temporal. La evolución de las lluvias puede constreñir si se puede elotear o no tocar ese producto, o la posibilidad de un riego de auxilio es crítico para tomar decisiones. El precio comparativo de otros

forrajes (por lo tanto su cantidad y disposición en la zona), son todos elementos que van conformando circuitos de mercado o de autoabasto que se entrecruzan ganando o perdiendo importancia en los flujos.

Y si a los anteriores indicadores económicos y productivos cruzamos la presencia de zonas eloteras (Tesistan e Ixtalhuacán en Jalisco) o de producción de buenos forrajes (el amarillo zamorano) donde la tradición cultural de sus pequeños productores alteños o ejidatarios de la costa define lo que en cada ciclo se hace, entonces puede haber comprensión del complejo maíz.

El tiempo es otro factor en juego, las siembras tempranas de las zonas de humedales (Zapopan e Ixtalhuacán), el temporal en forma, entre junio y julio, que define la mayor parte de la producción jalisciense. Y de igual forma, el consumo no es lineal, no hay disposición todo el año, el productor campesino genera en unos meses, pero en otro depende de los circuitos comerciales. Tómese en cuenta, que sólo hasta hace pocos años la DICONSA (recuérdese sus tiendas y penetración en zonas marginadas) accedió a comprar maíz de los valles centrales, cuando la importación de maíz norteamericano y de Sinaloa había sido su constante.

Si el atisbo a la coexistencia de necesidades y producciones diversas en el tiempo, espacio y tipo de productor nos convence como parte de la fortaleza del campo mexicano, la presencia de un maíz agresivo a otros usos (contaminante), legalmente constreñido (puede originar demandas legales a los productores) y cuya lógica es la del ahorro de plaguicidas (lo que no asegura productividad necesariamente), entonces entenderemos la amenaza que significa el rompimiento de posibilidades que el pequeño y mediano productor realiza de su maíz.

Tal vez los comerciales del tipo de los que transmiten en los sistemas televisivos a las 2 de la mañana, y su constante repetición y asombro del público asistente, pudiera convencernos de que estamos ante un producto que, ahora si va a desaparecer la pobreza de México, pero si en algo valoramos la construcción de la diversidad sostenida por el trabajo inteligente del hombre y el problema cultural, social, económico y agronómico que ello implica, llegaremos a una posición clara: sostener y desarrollar las posibilidades del maíz mexicano y evitar su empobrecimiento. Para ello es imprescindible entender esos distintos mundos que oscilan alrededor de la diversidad multidimensional de la producción y consumo del maíz. Los medianos productores de Jalisco, pero también de otras regiones como algunos municipios de Sinaloa o

del Estado de México comercializan su producto y basan su estrategia empresarial en ello, parte de este grupo han sido beneficiarios de las políticas públicas orientadas al sector en tanto un grupo más reducido ha captado la mayor parte de estos beneficios. Pero, ¿cómo coexisten multitud de otras unidades de producción de mucho menos escala pero que representan la mayor parte de los productores de maíz del país?

La agricultura campesina y su productividad

La agricultura campesina domina el paisaje rural mexicano: 80% de la superficie agrícola está dividida en millones de pequeñas parcelas que oscilan entre 0.5 y 15 hectáreas, que laboran millones de familias de origen indígena y mestizo. La mayor parte está cultivada con milpas, cuya riqueza agrícola depende de una matriz de factores ecológicos (precipitación, temperatura, evapotranspiración, calidad de los suelos, edad de la vegetación anterior, cantidad de malezas, acceso a semillas, plagas), sociales (acceso a la tierra, estructura y ciclo familiar, edad de los trabajadores, instituciones que favorecen intercambios laborales, estado de salud), económicos (matriz de precios, importaciones desleales, tasas de migración, salarios, cantidad de tierra cultivable) y culturales (cultura material, simbolización, educación, normas y arreglos familiares, significación de fiestas y ceremonias).

Por ello encontramos una gran heterogeneidad de arreglos y prácticas agrícolas que van desde monocultivos de maíz hasta milpas de 18 a 20 cultivos intercalados en varios estratos. Inclusive, las familias pueden cultivar varias pequeñas parcelas (entre 1 hasta 10 parcelas por productor en algunas regiones) con diversos arreglos topológicos y con un juego heterogéneo de cultivos.

Las familias tratan de cultivar una superficie suficiente para obtener una cosecha, cuya productividad satisfaga sus necesidades anuales. Sin embargo, debido a los cambios de precipitación, las altas tasas de erosión, la baja fertilidad de los suelos y los bajos precios de los productos agrícolas, las familias campesinas se ven obligadas a vender parte de su cosecha. En varias regiones de Oaxaca (Lazos, 2008) esta parte oscila entre 35% y 70% de la producción. Los factores que determinan la decisión de venta de la producción están enmarcados igualmente en una gran cantidad de variables económicas, sociales, ecológicas y culturales. Lo importante a señalar es que las familias que cultivan para

su subsistencia venden una parte importante de su producción para cubrir otras necesidades. Esto debería tener una gran relevancia en las políticas de la comercialización nacional.

Pero paralelamente a tener que vender parte de su producción en condiciones que algunos especialistas han denominado “ventas por compulsión” (se vende barato en períodos de cosecha y luego se compra caro en periodos de escasez), en múltiples comunidades del país (lo hemos confirmado en casos de los estados de Oaxaca, Michoacán, Estado de México, Morelos y otros lugares más), la producción de maíz se ha restringido a producir bienes para el autoabasto y prácticamente ha desaparecido la producción de excedentes para el mercado. Esta difícil situación no es sólo resultado de una lógica de no acumulación sino, desde la perspectiva de algunos autores (Robles y García B., 2008; De la Tejera y García B., 2008), es producto de múltiples fallas en un mercado que no distingue entre el maíz de alta calidad producido por los campesinos y el maíz de baja calidad importado. Producto de las fallas de un Estado que ha definido, como hemos visto, una política pública desfavorable para la producción maicera campesina, que liberó indiscriminadamente y en condiciones desiguales de intercambio el mercado de maíz, que ha permitido las importaciones excesivas y no respetó ni sus propias reglas arancelarias, posibilitando la caída de los precios reales domésticos, sin proveer las condiciones mínimas necesarias para disminuir los costos de transacción en la comercialización.

Este debilitamiento de la agricultura milpera campesina ha sido también resultado de una actividad agrícola abandonada a su suerte desde hace un par de décadas. No es casual que la agricultura esté cada vez más excluida de una estrategia de formación de ingreso monetario en los hogares de muchas comunidades campesinas y se inserte cada vez más en una lógica sólo de autoabasto. No es fortuito que la agricultura esté desposeída de su razón de conferir seguridad y que sea un reto cada vez mayor revertir esta tendencia y recuperar su capacidad para producir alimentos de la más alta calidad, que brinde seguridad a los productores, pero que además garantice la seguridad alimentaria nacional y represente una opción económica rentable para quienes la practican.

La investigación detallada sobre la agricultura campesina permite identificar que una evaluación de su productividad obliga a conocer la dinámica entre la superficie cultivada, la mano de obra invertida, el número de cultivos obtenidos y sus rendimientos respectivos. También

requiere incluir la cantidad de insumos utilizada y las prácticas de conservación de suelo, agua y biodiversidad. El conjunto de estas variables daría, en verdad, la productividad agrícola y ecológica en su conjunto. Sin embargo, cuando se reporta la producción de las milpas cultivadas por familias campesinas, por lo general se registra únicamente la producción de maíz. Esto se debe a la dificultad de medir el resto de las variables que se combinan en la agricultura campesina.

En distintos estudios de economía agrícola mundial se han construido curvas de productividad según el sistema agrícola. Como tendencia, la mayor productividad se reporta de campos intensivos tradicionales, con una alta agrobiodiversidad, fuerte inversión de trabajo, pero una escasa inversión de agroquímicos y fertilizantes (Mazoyer, 2005). En estos sistemas agrícolas se realiza un manejo múltiple de semillas basado en conocimientos, intereses, necesidades y requerimientos agrícolas en contraposición a las determinantes ecológicas de sus propias parcelas. Diversos factores entran en juego para seleccionar las semillas de las variedades o poblaciones a cultivar (Cuadro 2).

Esta matriz es una pequeña muestra de la cantidad de factores que las familias campesinas indígenas y mestizas toman en cuenta para decidir sobre el cultivo de sus tierras.

Sin embargo, también es importante señalar que la realización de trabajo de investigación y de campo en distintas regiones del país nos permiten ubicar, por medio de algunos indicadores como la información detallada de la composición del ingreso de los hogares campesinos, que en las últimas décadas se han presentado procesos de diversificación en las actividades económicas de las familias campesinas que han reducido parte de las prácticas más sustentables desarrolladas a lo largo de los siglos en la agricultura campesina milpera. Estos procesos tienen una raíz histórica, pero se han establecido con mayor claridad a partir de la profundización de la crisis agrícola que ha devenido en una notable disminución de la rentabilidad de los productos agropecuarios. En estos procesos, de acuerdo con De la Tejera y García B. (2008), la actividad agropecuaria ha perdido cada vez más importancia monetaria, lo que se refleja no sólo en una aportación reducida en el ingreso, sino en una atención disminuida de las prácticas agrícolas, el envejecimiento de los productores y la participación cada vez menor de los jóvenes, que prefieren migrar, así como en la reconfiguración del espacio agrícola, entre otros factores.

Cuadro 2. Frecuencia de siembra de las poblaciones de maíces según las características de selección mencionadas por los agricultores

Características	Variedades de maíz								H
	amarillo	Azul/morado	blanco	olotero	naranjaño	negro	Pinto	rojo	
Color	7	9	31	1	3	0	1	5	2
Peso	10	2	6	1	1	0	0	1	3
Sabor	7	8	15			12		4	0
Suavidad	2	5	12	0	1	1		2	0
Textura	1	3	4	1	1	0	0	3	1
Grosor del olote	8	4	12	0	3	0	0	5	2
tamaño de la mazorca	5	3	13	1	2	0	0	1	2
Conservación	11	3	18	0	3	0	0	2	1
resistencia a plagas	14	3	23	0	4	1	0	0	1
resistencia a vientos	11	6	7	0	2	1	0	2	2
tipo de suelos en su parcela	9	7	14	0	3	3	0	5	1
por topografía	8	5	15	0	1	0	0	4	0
ser más llenador	10	3	12	0	3	0	0	1	0
Rendimiento	10	2	12	0	5	0	0	0	1
preferencia por animales	16	4	23	0	2	1	0	5	3
uso ritual	10	3	16	0	2	1	0	2	0
uso de otras partes	6	2	15					4	0

H = maíces híbridos
Fuente: Lazos, 2008.

Sin embargo, es una actividad que forma parte de la vida de los campesinos e indígenas y que seguramente permanecerá durante mucho tiempo, aun con las fuertes presiones para erosionarla. Frente a esta complejidad, los transgénicos, en particular el maíz transgénico, ponen en riesgo la dinámica del sistema agrario de millones de familias campesinas. El mayor riesgo reside en la pérdida del control sobre las semillas de las múltiples poblaciones a cultivar. Si los productores pierden su banco de semillas, la vulnerabilidad y el riesgo aumentan, ya que los productores serían totalmente dependientes de la tecnología asociada al maíz transgénico. Los consorcios semilleros transnacionales dominarían el mercado nacional de semillas. Esta alta dependencia se manifiesta en una cita de uno de los grandes productores sinaloenses: “nosotros desde hace tiempo que no somos agricultores, ahora sólo somos simples maquiladores, maquilamos el maíz, así como en una fábrica. Tenemos que hacer lo que viene en el paquete”. Este escenario sería muy riesgoso para familias campesinas que ni tan siquiera podrían pagar la semilla del “paquete”. Pero aunque lo pudieran pagar, la matriz de condiciones y factores del sistema agrícola se transformaría radicalmente. Esto aumentaría aún más la vulnerabilidad social de las familias campesinas, ya de por sí depauperadas. La mercantilización del germoplasma agrícola provoca que la generación y transferencia de conocimientos sobre los cultivos tenga mayores impactos sociales, ya que su “acceso se relaciona con el ejercicio de poder y acciones de dominio” (Martínez Gómez, 2002). Sin duda alguna, el circuito del germoplasma dará el poder absoluto a quien lo controle.

Amenazas para la biodiversidad, la autonomía y el consumo de maíz de calidad

En México, como ya se señaló, la pauta de consumo de maíz es distinta a la de Estados Unidos y de otros países industrializados, ya que gran parte de todo el maíz producido se orienta a alimento humano, aun cuando, como ya se mencionó, se han presentado distorsiones en los mercados. Básicamente, el maíz para consumo humano en el país proviene de variedades tradicionales y es mayoritariamente producido por agricultores de bajos ingresos. Alrededor de 85% de los productores de maíz produce a pequeña escala, y se calcula en 66% su aporte a la producción nacional. Son los productores que seleccionan y protegen

sus semillas tradicionales y rechazan las semillas mejoradas, y es muy probable que menos de 40% de éstos haya incorporado semillas mejoradas alguna vez en sus parcelas. Un ejemplo de ello es que en el ciclo 2005 sólo 20% de la superficie destinada al cultivo de maíz se sembró con semilla mejorada o híbrida (Flavio Aragón, com. per.).

Los maíces chalqueños, cónicos, tuxpeños, los elotes occidentales, el cacahuacintle y sus amplias introgresiones, que se cultivan en los campos de secano, en tierras de ladera, desde el nivel del mar y hasta más de 3,000 metros de altitud, son los más resistentes a ventiscas, granizadas, sequías y constantes heladas. Es decir, son estas variedades tradicionales las que han sido adaptadas a la rugosidad extrema del paisaje agrícola mexicano.

Hoy día, en muchas ciudades, colonias y barrios existen puntos de venta adonde acuden los consumidores en busca de maíz blanco de origen mexicano e, implícitamente, no modificado genéticamente (GM). Ejemplo de estos puntos de venta son las tortillerías de la Asociación Nacional de Empresas Comercializadoras (ANEC) en los estados de México, Puebla y Veracruz, que se abastecen de maíz producido por unos 120 mil pequeños y medianos productores.

Otros puntos de venta son los restaurantes y comercios que venden productos hechos de maíz nativo, además —y no podría faltar en este recuento— de las tortillas hechas a mano que se venden de manera creciente en un sinnúmero de mercados de nuestro país. Por ejemplo, en las cuencas de Pátzcuaro y Zirahuén, en Michoacán, el sector de “la tortilla tradicional” consume alrededor de 340 toneladas de maíz, equivalente a 170 hectáreas utilizadas anualmente, e involucra un número aproximado de 400 mujeres trabajadoras. Dicho mercado es importante a nivel regional, en Morelia y aun en el Distrito Federal. Su demanda se encuentra asociada a un consumidor —urbano y rural— dispuesto a pagar un sobreprecio relacionado con la calidad de la tortilla que consume.

Aunado a esto, poco menos de medio millón de mexicanos han manifestado por escrito su inconformidad por el arribo (hasta 2009, ilegal en su mayoría) de maíces genéticamente modificados a su mesa y al agro nacional. A pesar de ello, hoy nos encontramos ante una paradoja: consumir maíz de muy baja calidad, riesgoso para la salud (hasta que no se demuestre lo contrario), que envilece nuestra condición de ser el centro de origen y dispersión de este maravilloso grano, en lugar de mantener, mejorar y aprovechar nuestras variedades tradicionales,

milenariamente adaptadas a nuestra rugosidad geográfica y nuestra idiosincrasia polifacética.

La aprobación de la siembra de maíz transgénico en México, si bien se señala que será en principio con fines experimentales, traerá consigo una mayor exclusión de los productores campesinos de maíz, toda vez que reforzará la tendencia, que se ha venido dando desde hace más de diez años, hacia la concentración de la producción de maíz.

Actualmente, la producción de maíz blanco se concentra en entidades de alto y mediano desarrollo tecnológico, ya que en 2006 Sinaloa concentraba 20.9% de la producción total de maíz y 48% de la producción con riego, seguida de Guanajuato, Tamaulipas, Michoacán y Chihuahua.

Este proceso se ha fortalecido debido a la concentración de los recursos públicos que se han otorgado a un reducido sector de grandes productores ubicados en áreas específicas con tierras de riego. Por ejemplo, los 9 mil millones de pesos asignados a ASERCA en 2007 se concentraron en 50 mil grandes productores y unas 25 empresas (Imagen Agropecuaria, 2008).

Asimismo, el crédito de avío se focalizó, pues 42.7% se concentraba en 2006 en cuatro entidades: Sinaloa, Sonora, Michoacán y Jalisco, por orden de importancia; en cambio, los estados donde se ubican en mayor medida pequeños productores de maíz como Oaxaca, Guerrero, Hidalgo, Puebla, Chiapas y San Luis Potosí, absorbieron solamente 10.9% de dicho crédito de avío para el mismo año.

Hasta ahora, la política pública ha consistido en desalentar la producción comercial de maíz de los pequeños productores al marginarlos de la mayor parte de los recursos públicos. Al mismo tiempo, se continúa incentivando la fallida reconversión productiva: a principios de 2008 la SAGARPA anunció un plan para reconvertir las tierras maiceras en otros cultivos, aduciendo que los pequeños productores pierden al sembrarlos. Se pretendía reducir de 8 millones a 6.5 millones de hectáreas la superficie maicera del país (Imagen Agropecuaria, 2008).

Con estas consideraciones, la aprobación de la siembra comercial de maíz transgénico agudizará sin duda la tendencia observada a marginar a los pequeños productores de la siembra comercial de maíz.

En la coyuntura actual, en la cual han subido los precios de maíz debido a la crisis alimentaria, resulta fundamental la incorporación de los pequeños productores a la siembra comercial de maíz con el fin, en primer lugar, de recuperar la autosuficiencia alimentaria, así como con

el propósito de que los campesinos se beneficien de los mejores precios del grano. No se puede seguir concentrando los recursos públicos y los escasos beneficios productos de la apertura comercial en reducidos sectores de producción y fomentando la especulación en la comercialización. Es necesario que se realicen múltiples transformaciones en el diseño de la política pública, en el comportamiento de los mercados, en la acción de los consumidores y en la recuperación de la producción campesina milpera y de maíz para enfrentar las intensas amenazas a la seguridad alimentaria nacional, la producción diversa de maíz y la economía campesina de nuestro país. ¿Cómo ir construyendo alternativas?

Producción campesina y emergencia de alternativas

Hoy día nos enfrentamos a un panorama en el cual la agricultura basada en el monocultivo y el uso intensivo de agroquímicos (herbicidas, fertilizantes químicos, etcétera), no es sustentable. Además de los aspectos locales, el sistema alimentario base de esta agricultura se encuentra seriamente cuestionado por los impactos globales de sus emisiones de gases de efecto invernadero. Por ello, las formas de agricultura menos dependientes de insumos derivados del petróleo que incorporan esquemas de manejo diversificado y tecnologías amigables con el ambiente, son urgentes.

El segmento de mercado orgánico y, en particular aquellos en donde los productos están hechos a base de maíz orgánico —como los cárnicos, lácteos y huevo—, ha crecido drásticamente a nivel mundial. Y aunque el maíz no es uno de los productos más importantes ofrecidos en la cartera de lo orgánico, la Certificadora Bioagricoop registró en 2007 la producción de maíz orgánico en nueve estados de la república mexicana. De hecho, algunas compañías mexicanas promueven ya las tortillas y tostadas hechas con variedades de maíz mexicano, certificadas como orgánicas.

Esto puede abrir una ventana de oportunidades para los agricultores mexicanos, aunque sea reducida, ya que el maíz orgánico o agroecológico puede alcanzar un sobreprecio que oscila entre 60% y 80% respecto del precio convencional. A finales de 2007, cuando el maíz convencional se vendía en 2,400 pesos por tonelada, el orgánico alcanzó hasta 4,500 pesos. Como un indicador de su vital presencia en el país encontramos aproximadamente 40 productores de variedades

nativas de maíz certificado como orgánico (azul, blanco, pozolero), en los estados de Durango, Chihuahua, Tabasco, Chiapas, Jalisco, D.F., Tlaxcala y Michoacán.

Otra opción que va emergiendo es la diferenciación de productos en el mercado por su señalización. Este proceso de diferenciación puede y debería darse en distintos niveles y por los diferentes agentes que intervienen en los mercados. Por ejemplo, el Estado tendría que establecer mecanismos para estimular la diferenciación de los maíces nativos y otros productos campesinos de alta calidad por medio de información generalizada a los consumidores, de campañas publicitarias, incentivos para el desarrollo de mercados locales y regionales, rurales y urbanos que tengan como base estos productos. Se requiere también invertir en la investigación y el desarrollo de infraestructura (por ejemplo, pequeños sistemas de riego o maquinaria apropiada para las condiciones edáficas, topográficas y de pequeña escala predominantes en la agricultura campesina, y la producción de maíz de mediana escala), en los sistemas organizacionales (por ejemplo, para el manejo de áreas de uso común), las tecnologías y el capital humano apropiados para el desarrollo de una agricultura sana en términos medioambientales, pero también equilibrados en la dimensión social y cultural. Es necesaria una política pública que apoye a las comunidades en la expansión de los mercados para sus productos y servicios e inversiones en infraestructura de almacenamiento y caminos, que facilite la comercialización de los productos locales y mejore las condiciones de mercadeo.

Las comunidades podrían aprovechar su experiencia cuando les sea posible para socializar sus conocimientos agrícolas y saberes milenarios con otras comunidades y campesinos con quienes comparten restricciones y condiciones socioeconómicas y culturales, y continuar haciéndolo cuando sea una práctica ya desarrollada. En algunos casos es necesario el desarrollo de empresas colectivas, reconstruir la economía moral comunitaria y las prácticas de reciprocidad y solidaridad inter e intracomunitarias.

En buena medida, la apertura de nuevos mercados, el desarrollo de los locales y el fortalecimiento de los procesos de comercialización en condiciones menos favorables de los productos campesinos y de medianos agricultores dependerá de cambios de actitudes, estímulo y organización por parte de grupos de consumidores urbanos y rurales. Esta tarea será imprescindible para que los esfuerzos comunitarios, de los agricultores y campesinos puedan cristalizar.

Conclusiones

El maíz es el cultivo más importante en México. Más de la mitad de la superficie agrícola del país y gran parte de la producción nacional de maíz depende de 3.1 millones de productores, 75 por ciento de ellos campesinos con parcelas menores a cinco hectáreas.

Las políticas gubernamentales mexicanas que afectan la producción y comercialización agrícola, y en particular de maíz, han sufrido profundos cambios en los años recientes, desprotegiendo al grupo más numeroso de pequeños y medianos productores agrícolas y permitiendo una cada vez mayor dependencia alimentaria.

De este proceso han resultado beneficiados grupos minoritarios de grandes corporaciones, la mayoría multinacionales, y grupos también muy reducidos de selectos productores a gran escala. Con estas políticas se han polarizado regiones, tipos de agricultura, cultivos, cadenas agroalimentarias y productores, consolidando la dualidad agrícola y velando la diversidad y riqueza agroalimentaria y cultural del país.

Para recuperar la soberanía alimentaria y no poner en riesgo a millones de agricultores y consumidores nacionales, el Estado debe establecer mecanismos para estimular la producción de maíz fundamentalmente de pequeños agricultores campesinos y medianos productores, y favorecer la comercialización de sus productos en condiciones menos desventajosas.

Debe propiciarse la diferenciación de los maíces nativos y otros productos campesinos de alta calidad, por medio de información generalizada a los consumidores, campañas publicitarias, incentivos para el desarrollo de mercados locales y regionales, rurales y urbanos que tengan como base estos productos. Se requiere también invertir en la investigación y el desarrollo de infraestructura, en sistemas organizacionales, tecnologías y capital humano apropiados para el desarrollo de una agricultura sana en términos medioambientales, pero también equilibrada en la dimensión social y cultural. Asimismo pueden incentivarse ventanas de oportunidades como la producción de maíces orgánicos y agroecológicos.

Las comunidades rurales podrían aprovechar su experiencia cuando les sea posible socializar sus conocimientos agrícolas y saberes milenarios con otras comunidades y campesinos con quienes comparten restricciones y condiciones socioeconómicas y culturales, y continuar haciéndolo cuando sea una práctica ya desarrollada. En algunos casos es

necesario el desarrollo de empresas colectivas, reconstruir la economía moral comunitaria y las prácticas de reciprocidad y solidaridad inter e intracomunitarias.

En buena medida, la apertura de nuevos mercados, el desarrollo de los locales y el fortalecimiento de los procesos de comercialización en condiciones favorables para los productos campesinos y de medianos agricultores, dependerá de cambios de actitudes, estímulos y organización de grupos de consumidores urbanos y rurales. Esta tarea será imprescindible para que los esfuerzos comunitarios de agricultores y campesinos puedan cristalizar.

Es fundamental que se frene la siembra de maíces GM y en ello el papel central debe ser desempeñado por el Estado, dando marcha atrás a la autorización de siembras “experimentales” y reorientando el conjunto de políticas sectoriales con el fin de disminuir los niveles de dependencia alimentaria, y fortaleciendo la soberanía alimentaria nacional con instrumentos específicos para favorecer los diversos tipos de agricultura maicera, de los que depende el consumo nacional, con maíces de alta calidad.

Los posibles efectos de los OGM en la salud humana, en los agroecosistemas (flora, fauna, suelo y agua) y en los paisajes agrícolas no están aún claros, por lo que la posibilidad de coexistencia entre OGM y los otros maíces es un tema muy controvertido.

Algunos autores exponen que la coexistencia de cultivos orgánicos y cultivos GM no es una opción realista. Sabemos que el polen viable puede viajar varios kilómetros, por lo que la coexistencia resulta un argumento perverso. En Estado Unidos, por ejemplo, son frecuentes los casos de demandas de las grandes corporaciones (como Monsanto) los productores dueños de cultivos y terrenos adonde llegan genes derivados de cultivos GM. En países como Suiza, en donde la siembra de semillas GM se encuentra restringida, la separación de maíz GM importado y no GM se hace casi al 100%, aunque en la última etapa del procesamiento de almidón, por ejemplo, pueden entrar componentes de OGM. En España, en donde se siembra maíz forrajero GM desde 1998, la coexistencia en el campo es realmente nula, ya que el maíz GM domina el territorio de siembra; el maíz no GM es importado de Francia o producido por algún agricultor particular en superficies pequeñas y aisladas. En el resto de la cadena de transporte, los molinos se encargan de mover y procesar el grano de las diferentes cosechas por separado.

En México, la mayoría de los productores ya han sido expuestos a semillas comerciales, y a pesar de ello no piensan cambiar su opción milenaria. Aunque se ha observado, por ejemplo, que algunos agricultores campesinos y medios están dispuestos a participar en programas de mejora genética participativa.

A diferencia de la producción industrial de maíz que convierte este grano en una mercancía o *commodity* con fines exclusivamente comerciales, bajo una plataforma productiva insostenible por su alta dependencia de insumos agroquímicos, que resultan a todas luces ecológicamente degradantes en las escalas local, regional y global, e inviables económicamente a mediano y largo plazo, la agricultura maicera mexicana es conducida por un mayoritario número de pequeños agricultores que dirigen sus producción para el consumo humano, utilizando variedades locales adaptadas a las condiciones ambientales de sus parcelas, a sus necesidades alimentarias y bajo patrones culturales que otorgan un significado primordial a dicho cultivo.

Para gran parte de los productores maiceros de México, el maíz —y sus razas y variedades locales— resulta el alimento básico de su dieta cotidiana, es el resultado de su milenaria adaptación a una problemática geográfica, y constituye un referente simbólico primordial en sus complejos culturales. De allí que una mayoría de ellos —y de consumidores urbanos y rurales— defienda el derecho a producir sus semillas y a consumir sus alimentos decididos de manera libre.

Más allá de que México sea el centro de origen, resulta a todas luces riesgosa la posible coexistencia de los maíces nativos con los maíces GM. En México el maíz, además de ser un icono emblemático, es el sustento para la supervivencia social de millones de habitantes.

El arribo masivo y extensivo de maíces GM implicaría, además, cancelar la emergencia de formas de agricultura menos oprobiosas ambiental y socialmente, la resurgencia de una agricultura campesina, una orgánica y otra agroecológica, por ejemplo, que seguramente estarían culturalmente adaptadas, además de un mejoramiento de la vida económica de millones de habitantes mexicanos, y de contribuir al saneamiento de nuestro planeta. La introducción amplia de maíces GM abundaría en una mayor pobreza económica y alimentaria, en una mayor erosión genética y ecológica de nuestro territorio agrícola, en una mayor dependencia alimentaria y en el colapso de nuestra soberanía nacional.

Referencias

- Aguilar, J. (1991). *Consejos para almacenar el maíz en casa*. México: Libros del Rincón, SEP y GEA.
- Aguilar, Jasmine y Gerardo Alatorre (1988). *Maíz, cultura y poder en la sierra Zapoteca*. México: Tesis de maestría en desarrollo rural, Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco.
- Aguilar, J., & Zapoteco, A. T. (1997). Organización campesina y manejo de recursos naturales en el trópico seco. En L. Paré, & e. al (comp), *Semillas para el cambio en el campo*. México: Universidad Nacional Autónoma de México-Instituto de Investigaciones Sociales.
- Aguilar, Margot y Leonardo Meza (1992). *Desde Río hacia las sociedades sustentables y de responsabilidad global. Colección de Cuadernos para una Sociedad Sustentable*. México: Fundación Friedrich Ebert y GEA.
- Appendini, K. (1996). *Changing Agrarian Institutions: Interpreting the Contradictions*. CERLAC Working Paper Series, York University y Centre for Research on Latin America and the Caribbean.
- Appendini, K. (2001). *De la Milpa a los Tortibonos: La Restructuración de la Política Alimentaria en México*. México; Ginerbra: El Colegio de México; UNRISD, .
- Appendini, Kirsten, Beatriz De la Tejera y Raúl García Barrios (2003). Seguridad alimentaria y «calidad» de los alimentos: ¿una estrategia campesina? *Revista Europea de Estudios Latinoamericanos y del Caribe, CEDLA*.
- ASERCA. (1993). Apoyos y Servicios a la Comercialización Agropecuaria. *Claridades Agropecuarias, 3*.
- ASERCA. (2003). *Página Electrónica de Infoaserca*. Recuperado el Abril de 2003.
- Astier, M. (2006). *Estudio sistémico de la elaboración de tortillas tradicionales: su impacto en el uso y conservación de los recursos naturales en la Cuenca Pátzcuaro-Zirahuén*. Documento de GIRA AC.
- Ávalos-Sartorio, B. (2006). What can we learn from past price stabilization policies and market reform in Mexico? *Food Policy, 31*, 313-327.
- Banco de México. (2008).
- Banco de México. (Diciembre 2006). *Sistema de Información Comercial de México*.
- Banco Mundial. (2005). *Income Generation and Social Protection for the Poor: México*. Washington, D.C.

- Brookes G., P. B., & Poeydomenge, A. (2004). *Genetically modified maize: pollen movement and crop coexistence*. *P G Economics*. Retrieved from www.pgeconomics.co.uk/pdf/Maizepollenmov2004final.pdf
- Carrol, C. R., & Rosset, P. (1990). *Agroecology*. New York: McGraw Hill Publishing Company.
- Casco Flores, A. (1999). CONASUPO: a case study on state-trading deregulation. *Canadian Journal of Agricultural Economics*, 47, 495-506.
- Cimmyt, inifap, cnba. (Septiembre de 1995). Flujo genético entre maíz criollo, maíz mejorado y teocintle: implicaciones para el maíz transgénico. Memoria del Foro. México. México.
- Comité Organizador. (23 y 26 de agosto de 1996). Memoria básica. El hambre no espera. Foro Nacional por la Soberanía Alimentaria. México.
- De la Tejera B. (1997). *Instituciones económicas comunitarias en la Meseta Purépecha de Michoacán*. México: Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Centro de Economía Agrícola, México. Sin publicar.
- De la Tejera, B. (2000). *Datos de trabajo de campo en los estados de Jalisco y Michoacán, México*. México: Sin publicar.
- De la Tejera, B., & Garcia, R. (2008). *Agricultura y estrategias de formación de ingreso campesinas en comunidades indígenas forestales oaxaqueñas en García B.R., B. De la Tejera y K. Appendini, Instituciones y Desarrollo: Ensayos sobre la complejidad del campo en México*. UNAM-UACH-Col-Mex.
- De la Tejera, B., & Santos, A. (2007). México y su inserción desfavorable en el sistema agroalimentario mundial : El caso del maíz. *Revista Geografía Agrícola*, 39.
- Diario oficial de la federacion del 23 de abril de 1997. Norma Oficial Mexicana NOM-037-FITO-1995, Por la que se establecen las especificaciones del proceso de producción y procesamiento de productos agrícolas orgánicos*. (1997). Obtenido de www.senasica.sagarpa.gob
- Díaz León, M., & Cruz León, A. (compiladores). (1998). Nueve mil años de agricultura en México. Homenaje a Efraím Hernández Xolocotzi. México: GEA y Universidad Autónoma Chapingo (UACH).
- Díaz, L. (2005). *Regulación comunitaria de recursos naturales, autonomía y sustentabilidad: el caso de comunidades indígenas de la región de Chilapa, Guerrero*. *Tesis de licenciatura en etnología*. México: Escuela Nacional de Antropología e Historia.

- Dyer, G. (2007). Análisis Cuantitativo de los Efectos de Transferencias al Sector Rural: Ingreso Objetivo, PROCAMPO and Oportunidades. En *Reporte preparado para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID)*. .
- Esteva, G., & Marielle, C. (coordinadores). (2003). *Sin maíz no hay país*. Dirección General de Culturas Populares e Indígenas del Consejo Nacional para la Cultura y las Artes.
- FAPRI. (2008). US Baseline Briefing Book. *FAPRI-MU Report #03-08*.
- Fiess, N., & Lederman, D. (2004). Mexican Corn: the Effects of NAFTA. *Trade Note 18*.
- Financiera Rural. (2006). *Dirección Ejecutiva de la Coordinación y Evaluación Regional*. México.
- Flores, R. (11 de Enero de 2008). *Aprende más sobre alimentos orgánicos*. Obtenido de Diario el Universal: www.jornada.unam.mx/2005/09/29
- García B., B. D. (2000). *Proyecto "Reformas a la Industria Forestal y desarrollo comunitario en poblaciones indígenas de Oaxaca"*. México: Centro Regional de Investigaciones Multidisciplinarias, Universidad Nacional Autónoma de México-Centro Regional Universitario Centro Occidente, Universidad Autónoma Chapingo; Fundación Ford-FAO.
- Gliessmann, S. (2000). *Agroecology: Ecological Processes in Sustainable Agriculture*. Boca Ratón, Florida: CRC/Lewis Publishers.
- Gómez C.M.A., R. S., & Meraz, A. (2005). *Directorio general de productores orgánicos por estado y por producto*. Etdo. de México, Sagarpa: Universidad Autónoma Chapingo. CIESTAAM-AUNA.
- Gómez Cruz, M., Tovar, L. G., & Rindermann, R. S. (2003). La Agricultura Orgánica en México. En *Producción, comercialización y certificación de la agricultura orgánica en América Latina*. México: CIESTAAM. Universidad Autónoma Chapingo.
- Gómez Tovar L., M. G., & Schwentesius, R. (2008). *Las Perspectivas de la Agricultura Orgánica en México*. Obtenido de www.demexicoalmundo.com.mx/exporganicos/Ponencias/AOenMexicoCIESTAAM.pps
- González, A., & Zazueta, A. (coordinadores). (1993). *El proceso de Evaluación Rural Participativa. Una propuesta metodológica*. México: GEA y World Resources Institute.
- Goodall, C. (2007). *How to live a low-carbon life. The individual's guide to stopping climate change*. Earthscan.
- Goodman, M., & Y., C. F. (Septiembre de 1995). *Memoria del Foro*. México., (pág. 76). México.

- Heath, J. (1987). Constraints on peasant maize production: A case study from Michoacan. *Mexican Studies*, 3.
- Hernández Navarro, L. (05 de Junio de 2001). Maíz Frankenstein. *La Jornada*, pág. 19.
- Imagen Agropecuaria. (29 de enero de 2008).
- INEGI. (2005). *El Sector Alimentario en México*. México.
- INEGI. (2009). Obtenido de inegi.org.mx/sistemas/tabulados_basicos/cagf2007/tabulado_viii:cagyf:8.pdf
- INEGI-Jalisco. (2005). *Anuario Estadístico Jalisco Tomo II*. México.
- Institute for Agriculture and Trade Policy (IATP). (2003). *United States Dumping on World Agricultural Markets*. Obtenido de www.iatp.org/documents/united-states-dumping-on-world-agricultural-markets
- Lazos Chavero, E. (s.f.). La invención de los transgénicos: ¿nuevas relaciones entre sociedad y cultura? *Nueva Antropología*, XXI(68), 9-35.
- Lehman, K. (1995). Por un sistema alimentario sustentable y global. En J. González Loera, & et al, *Agroecología y Desarrollo Sustentable. 2do Seminario Internacional de Agroecología*. México: Editorial UACH y RIAD.
- Levy, S. y S. van Wijnbergen (1992). Maize and the Free Trade Agreement between Mexico and the United States. *The World Bank Economic Review*, 6(3), 481-502.
- Marielle, C. (. (2007). *¿Maíz transgénico? Riesgos para el ambiente, la salud y la soberanía alimentaria de México*. México: GEA.
- Marielle, C. (. (2008). *iSAS! Una experiencia campesina hacia sistemas alimentarios sustentables*. México: GEA.
- Marielle, C. (s.f.). *Sistemas Alimentarios Sustentables. Cuadernos Nos. 1 a 11 GEA*.
- Marielle, C. (1998). *¿Hacia la sustentabilidad? Memoria del seminario*. México: GEA.
- Marielle, C. (coord.). (2007). *La contaminación transgénica del maíz en México. Luchas civiles en defensa del maíz y de la soberanía alimentaria. Estudio de caso*. México: GEA.
- Martínez Gómez, F. (2002). *La globalización en la agricultura. Las negociaciones internacionales en torno al germoplasma agrícola*. México: Ed. Plaza y Valdés y Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Masera, O. M., & Ridaura, S. L. (2000). *Sustentabilidad y manejo de recursos naturales. El marco de evaluación MESMIS*. México: Grupo Interdisciplinario de Tecnología Rural Apropiada.

- Mazoyer, Marcel y Laurence Roudart (2005). *La Fracture Agricole et Alimentaire Mondiale. Nourrir l'humanité aujourd'hui et demain.* . France: Encyclopaedia UNIVERSALIS.
- Meza, M. (2000). Seguimos estando juntos. La organización campesina en Chilapa. En A. Bartra (compilador), *Crónicas del sur. Utopías campesinas en Guerrero*. México: Era.
- Motamed, M. K., & Tyner, W. (2008). Applying cointegration and error correction to measure trade linkages: maize prices in the United States and Mexico. *Agricultural Economics* 39, 29-39.
- Nadal, A., & Wise, T. (s.f.). *Los costos ambientales de la liberalización agrícola: El comercio de maíz entre México y EE.UU. en el marco del NAFTA*.
- OECD. (2006). *Agricultural and Fisheries Policies in Mexico: Recent Achievements, Continuing the Reform Agenda*. Paris: OECD.
- OECD. (2001). *Agricultural Policies in OECD Countries: Monitoring and Evaluation 2000*. In *Glossary of Agricultural Policy Terms*. OECD.
- Oehen, B. M.-F., & Stolze, M. (2007). Co-existence in maize supply chains in Spain and Switzerland. (pág. Poster presented at 3rd QLIF Congress: Improving Sustainability in Organic and Low Input Food Production Systems). University of Hohenhei.
- Perea, E. (22 de Enero de 2008). *La Imagen Agropecuaria No 1*. Obtenido de <http://www.imagenagropecuaria.com/articulos>
- Prabhu, L., & Pandery, S. (1999). *Meeting World Maize Needs: Technological Opportunities and Priorities for the Public Sector*. CIMMYT.
- Pretty, J. (2003). *Agri-Culture.Reconnecting people, land and nature*. Earthscan.
- Robles, H., & B., R. G. (2008). Fallas estructurales del mercado de maíz y la lógica de la producción campesina: microeconomía del autoabasto y la autosuficiencia. En B. García, B. De la Tejera, & K. Appendini, *Instituciones y Desarrollo: Ensayos sobre la complejidad del campo en México*. UNAM-UACH-ColMex.
- Royal Society Policy Document 4/02*. (February de 2002). Obtenido de Genetically modified plants for food use and human health, an update: http://www.sgr.org.uk/GenEng/letter_EU_organicoexistence_09sep03.htm
- SAGAR. Centro de Estadística Agropecuaria . (2000). *Situación actual y perspectiva de la producción de maíz en México, 1990-1999*.
- SAGARPA-SIAP. (2010). *Cuadros estadísticos de comercio exterior de productos sensibles 2005-2009*. México.

- SAGARPA. (2009). *Sistema Producto Maíz. Logros y perspectivas en la producción de maíz. Estrategias para ordenar el mercado de maíz, agosto 2005*. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/sp/csp/maiz.pdf>
- Salamov, A. (1940). *About isolation in corn. Sel. I. Sem., 3.* (M. Afanasiev (1949), Trans.)
- Sanzekan Tinemi y Servicios de Apoyo Local al Desarrollo de Base. (s.f.). *México*.
- Secofi. (s.f.). *TLC: El Texto*.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1989). *Programa Nacional de Modernización del Campo*. SARH.
- Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH). (1993). *Programa de Apoyos Directos al Campo*. México: Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2009). *Situación actual y perspectivas del maíz en México, 2008*.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2010). *Indicadores básicos del sector agroalimentario y pesquero. SAGARPA-SIAP*. Obtenido de www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/InformaciondeMercados/Mercados/modelos/Indicadoresbasicos2009.pdf
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2012). *Balanza Mensualizada de disponibilidad consumo de maíz*.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) y Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP). (2009). *Situación actual y perspectivas del maíz en México 1996-2012*. . Obtenido de www.campomexicano.gob.mx/portal_siap/Integracion/EstadisticaDerivada/ComercioExterior/Estudios/Perspectivas/maiz96-12.pdf
- Sumner, D. y. (2007). *Economic analysis of the Target Income program in Mexico*. Reporte preparado para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Treu R., & Emberlin, J. (2000). *Pollen dispersal in the crops Maize (Zea mays), Oil seed rape (Brassica napus ssp oleifera), Potatoes (Solanum tuberosum)*,

- Sugar beet (Beta vulgaris ssp. vulgaris) and Wheat (Triticum aestivum).*
Report for the Soil Association.
- Vega, D., & Ramírez, M. (2004). *Situación y perspectivas del maíz en México.* Universidad Autónoma Chapingo.
- Westhoff, P., & Thompson, W. (2007). *Preliminary baseline projections for maize, sugar, and HFCS markets.* Reporte preparado para la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID).
- Yúnez Naude, A. (2003). The dismantling of CONASUPO, a Mexican state trader in agricultura. *The World Economy* 26, 97-122.
- Yúnez Naude, A., & F., B. (2004). The agriculture of Mexico after ten years of NAFTA implementation. *Documento de Trabajo* 277.
- Yúnez, A. y G. Dyer. (2006). Estudio temático de los efectos de la apertura comercial y desregulación de los productos agropecuarios. México: Cámara de Diputados.



CAPÍTULO 17
LA DISPUTA POR EL MAÍZ: COMUNALIDAD VS TRANSGÉNICOS
EN MÉXICO



Adelita San Vicente Tello y Areli Carreón

*...el maíz es el fruto máspreciado de la relación
que se establece entre la gente y la naturaleza,
... y brota de las entrañas maternas de la tierra.*

Floriberto Díaz, 2007

Junto al maíz floreció una cultura, se creó una visión del mundo y fue posible el surgimiento de una civilización. Al domesticar al maíz nuestros antepasados mesoamericanos inventaron la agricultura —un arte, una ciencia, una tecnología, un conocimiento— con ella, se asentaron y, gracias a la generosidad y valor alimenticio de este cereal, liberaron tiempo social para el arte, la astronomía, la poesía, la religión; en suma el maíz posibilitó la creación de una civilización.

De esta manera, la mujer y el hombre, hicieron al maíz, pero al mismo tiempo el maíz hizo a los hombres en su amplio sentido, pues gracias al maíz el ser humano mesoamericano logró construir una civilización, con un sistema de pensamiento, una cultura, una cosmovisión, un panteón. El maíz es el centro de la creación, su ciclo de vida hace posible la vida humana y forma parte de la vida comunitaria mesoamericana en todos sus aspectos. Como bien dijo Guillermo Bonfil Batalla “El maíz es un invento nuestro. Y el maíz, a su vez, nos inventó.”

En la actualidad, frente a este sistema de pensamiento capaz de dar origen a una esplendorosa civilización encontramos la avidez de

unas cuantas empresas que ven como un negocio gigantesco la concentración de las capacidades para generar semillas y el control que sobre ellas puedan ejercer. Esta posibilidad les ofrece a dichas corporaciones un manejo político sin precedentes en la historia de la humanidad, con implicaciones profundas y graves riesgos para la economía, el medio ambiente y la vida. A través de la tecnología, la disputa territorial característica de la expropiación y explotación capitalista, se ha trasladado al nivel molecular y ahí mediante la inserción de genes y el uso de técnicas patentadas, se han establecido derechos privados sobre los recursos genéticos, con especial atención en el maíz dado su carácter civilizatorio y en la actualidad, esencial para la humanidad.

Sin embargo, los inventores y custodios de la diversidad de las semillas de maíz, intuyen esta amenaza y actúan para preservar al maíz bajo su visión de comunalidad. Las campesinas y campesinos han venido realizando en los últimos diez años ferias de intercambio de semillas y han desarrollado experiencias de resguardo de semillas: a lo largo y ancho del país se observa que la mejor defensa es la protección creativa de esta diversidad.

De esta manera consideramos que en los últimos años en México más que un despojo, se ha establecido una disputa por el maíz: por un lado, están las poblaciones campesinas e indígenas de Mesoamérica, que reivindican su derecho legítimo a sembrarlo, comerlo y reproducirlo libremente. Junto a ellas científicos, organizaciones ambientalistas, y de derechos humanos han levantado la voz de alarma, tanto por las implicaciones que tendría la producción de maíz transgénico en la alimentación y el ambiente, como por el despojo que significa para las comunidades indígenas y campesinas la introducción de esta tecnología en manos de unas cuantas empresas. La disyuntiva se plantea entre mantener a nuestra planta sagrada como un patrimonio de la humanidad o permitir su apropiación en virtud de su transformación genética.

El adversario son las corporaciones biotecnológicas y los monopolios agroindustriales que en contubernio con el gobierno mexicano, intentan arrancar al maíz de todos los significados, derechos y conocimientos que lo ligan a las comunidades campesinas e indígenas para transformarlo en una materia prima, el pivote que les garantice sus ganancias en los mercados agroalimentarios globales. Esta lucha ha logrado detener la siembra indiscriminada de maíz transgénico en México, aquella que han augurado las empresas en múltiples ocasiones.

El maíz, artífice de una civilización

Desde su creación como planta domesticada, el maíz es más que una planta sagrada, íntimamente unida a la vida humana. El maíz para los mesoamericanos es un demiurgo, una planta humanizada, un dios encarnado, un miembro de su familia-comunidad, al que se habla, se canta, se reza, se bendice; al que se arropa y cuida con amor. El maíz en Mesoamérica es un objeto animado, cuya vida y existencia no se explica sin la vida de los indígenas y campesinos que lo siembran y de quienes depende absolutamente para reproducirse; y viceversa: la vida indígena y campesina es imposible sin el maíz. Su relación es a tal grado simbiótica, que puede decirse que son uno solo, que uno no es sin el otro. Como señala Alfredo López Austin “gracias al vínculo, ambos actores adquirieron muy diferente naturaleza. La unión penetró hasta la intimidad molecular del maíz hasta hacerlo más útil para el hombre, más inútil para sí; esto es lo domesticó. También domesticó al hombre, modificando su carácter social” (López A., 2003).

Sujeto, territorio, milpa, maíz, semilla, molécula. La trascendencia de esta planta como centro organizador del espacio, de la actividad, de la comunidad, del cosmos, de las creencias y las fiestas; le da una papel protagónico en la construcción de esta civilización. Los creadores del maíz erigieron alrededor de esta planta una visión del mundo que hizo posible una civilización. La coevolución de una civilización ligada a una planta conlleva una aproximación al mundo, una visión particular y una construcción del conocimiento que se refleja ampliamente a través de las leyendas descritas por López Austin y Florescano. Por ejemplo para los mayas, “el mito de la creación cosmogónica era fundamentalmente un mito agrícola, una celebración de los poderes germinales de la tierra y el agua simbolizados en el brote de la planta del maíz”. (Florescano, 1994). Estamos hechos de maíz dice el Popol Vuh —libro sagrado de los mayas—, o bien, de los dioses brotó el maíz y todas las plantas que acompañan a la milpa: chíca, frijol, algodón dice la leyenda de Quetzalcóatl. Incluso, los dioses eran el propio maíz que moría y una vez enterrado, revivía como Homshuck en la zona Popoluca.

Los mitos, precursores de la historia, hablan de la trascendencia de esta planta sagrada y de su antecesor que ha mantenido su nombre indígena, el teocintle. “Los mayas vincularon el ciclo de la vida agraria con los símbolos de la sucesión del poder. Así como el dios maíz muere en la cosecha y renace en cada siembra, la sangre real era la semilla que

vinculaba al rey muerto con sus sucesores. El grano o semilla que hace posible el renacimiento cíclico de la planta del maíz es el equivalente de la sangre humana que se transmite por herencia y asegura de la misma manera la continuidad del linaje”. (Solares, 2007).

Adentrarnos en la descripción antropológica del maíz significa desentrañar la íntima relación entre el maíz, y la mujer y el hombre que permitió el desarrollo de esta planta maravillosa. Encontraremos a los teocintles en la historia prehispánica narrada en los mitos, en el tiempo en que sucedió esta transformación gracias a la domesticación, tarea realizada por los antiguos pobladores de Mesoamérica que implicó un profundo conocimiento de la naturaleza.

Inicia entonces el proceso de domesticación como parte de un cuerpo de conocimientos que permitieron el desarrollo de la agricultura y de una civilización. La observación, experimentación y trabajo indígena lograron la transformación de este pasto, con unos cuantos granos descubiertos, en la mazorca cubierta con cientos de granos.

La domesticación del maíz, es lo que asienta a esta cultura y le abre las posibilidades de crear todos los artefactos necesarios para establecerse. El maíz mexicano puede ser considerado casi como un “artefacto” que se originó y sobrevive dependiente de la mano del hombre (Benz, 1997). La observación y el conocimiento profundo del medio, de la planta que germinó de un grano, le permiten a la mujer y al hombre mesoamericanos transformarla. La agricultura —la cultura de la tierra, las labores, esa tecnología que el conocimiento campesino convierte en arte, en la artesanía capaz de producir lo que nos alimenta día a día.

Fue así como en esta región del planeta, con la domesticación del maíz se inventa la agricultura, la cual, a decir de Bernal (1979), es uno de los tres grandes inventos de humanidad, junto al uso del fuego y a la máquina. La agricultura se desarrolla como base de esta civilización y permite la aparición de una planta maravillosa con características únicas que le permiten dispersarse por el mundo entero y convertirse en unos cuantos siglos en el “grano de la humanidad” (Galinat, 1995).

Aunque poco se sabe de las actividades y los conocimientos en torno a la cultura del agro, que reunieron nuestros ancestros para lograr tan importante transformación. El siglo pasado logró el reconocimiento a “Estos primeros mexicanos...llevaron a cabo el gran logro la reproducción de una planta... transformaron un pasto salvaje nativo llamado

teocintle, es decir el grano de los dioses” (Galinat, 1995). Cintéotl es “el dios mazorca”. El más importante de todos. En este punto es el teocintle quien cobra relevancia como antecesor del maíz.

De hecho apenas hace unos años se ha reconocido, con cierta dificultad, lo que se había señalado en el extranjero: “a estos indígenas prehistóricos se les puede dar el crédito de haber producido el máximo cambio morfológico de cualquier planta cultivada y de haber adaptado el maíz al rango geográfico más amplio de las plantas cultivadas de importancia (Beadle citado por Flannery, 1989). Estableciéndose así otro vínculo indisoluble: el del conocimiento y el trabajo campesino ligado a la diversidad de las semillas de maíz.

Nuevos colonialismos del capital

La conquista de América significó la separación del sujeto del objeto, el maíz fue arrancado de una civilización para viajar al viejo continente. El maíz fue llevado a Europa y de ahí al resto del mundo, sin el conocimiento para usarlo como alimento humano. Al consumirlo sin emplear el proceso de la nixtamalización, el maíz comenzó a causar pelagra en las personas que lo consumían en los países en donde se sembró. A partir de ese momento, el maíz fue considerado un grano apto únicamente para la alimentación animal, pero no para la humana. Fuera de América, lejos de sus compañeros hacedores, la civilización que lo creó, el maíz fue simplemente una planta generosa, productora de grano, pero ya no pilar fundamental de la vida humana.

Cuando nuestro maíz sale de la civilización que le dio origen, el sujeto y el objeto se escinden; el maíz pierde su “humanidad” y se transforma en un objeto: una planta viajera que produce grano y semilla. Pero en Mesoamérica, “la visión cíclica del grano que se entierra como semilla para dar vida se mantuvo viva, como hilo fundacional sobre el que se tejió durante miles de años la civilización mesoamericana. En las comunidades indígenas y campesinas de México, el maíz nunca perdió su *humanidad*” (Solares, 2007).

El maíz-objeto, sin embargo, se llevó consigo su historia. Toda vez que las semillas son reservorio de vida, pero también de historia, su capacidad de ser tanto la estructura biológica que almacena los nutrientes, como la información genética que posibilita la reproducción de buena parte de los vegetales, se suma a su posibilidad de resguardar

la historia y el conocimiento colectivo. El desarrollo de características deseables a partir de la observación, cruzamiento, protección, intercambio y búsqueda de semillas realizado por los agricultores durante 10 mil años de agricultura, se resumen en las semillas. En ellas se almacena la historia: “Se trata de una acumulación de tradición, de una acumulación de conocimientos sobre cómo trabajar esas semillas”(Shiva, 2003). El conocimiento contenido en ellas, en última instancia, es producto de un esfuerzo colectivo milenario de la humanidad, que ha buscado a través del mismo mantenerse como especie.

Por ello, si seguimos la evolución de las semillas a lo largo de la historia de la humanidad necesariamente haremos un recuento del conocimiento y del desarrollo tecnológico ligado a las mismas, así como de las condiciones sociales de producción que los determinaron. De esta manera en las semillas se encuentra, junto al material genético que permite la reproducción de las plantas, el conocimiento que la humanidad ha acumulado a lo largo de los siglos y con este el desarrollo científico y tecnológico alcanzado.

Es por esta capacidad de resumir la vida, la historia y el conocimiento que las semillas son el objeto sobre el que se ha centrado la disputa por el maíz. Si bien se codicia la planta completa del maíz por sus características botánicas, ventajas en uso y potencial de producción, es la semilla el eslabón que se considera estratégico para apropiarse de toda la cadena maíz y en última instancia de todo el sistema alimentario global dada la importancia de nuestro cereal en las cadenas mundiales de alimentación de nuestro tiempo.

Las semillas contienen un profundo conocimiento de la naturaleza que se encuadra en un sistema de pensamiento y en última instancia en una cosmovisión que implica una relación diferente con la naturaleza. La apropiación de las semillas mismas conlleva a la expropiación y al usufructo de este conocimiento milenario de la humanidad que ha sido creado, recreado y enriquecido desde hace 10,000 mil años por una diversidad de culturas ancestrales, que mantienen vivo, hasta el día de hoy, este esfuerzo por reproducir tanto la vida vegetal como la humana.

La actual disputa por el maíz, intenta transformar al maíz en una mercancía, penetrando en su estructura más íntima los genes, con la intención de patentarlos, para que nuestra planta sagrada, los conocimientos campesinos y el modo de vida rural ligados a él, se sujeten al arbitrio de las leyes de mercado y de los caprichos del capital. Las

tecnologías posibilitan la apropiación de las semillas y el conocimiento milenario ligado a ellas permitiendo la transformación de la semilla de un recurso común a una mercancía, cuyo fin último es generar ganancias. En este sentido, la imposición de tecnologías actúa como una forma privilegiada para apropiarse del valor de la naturaleza.

En el siglo XX la llamada “Revolución verde” que implicó la utilización de los conocimientos de la genética mendeliana para desarrollar variedades mejoradas a partir de cruzamientos de progenitores seleccionados permitió incrementar de manera inusitada la producción de alimentos en el mundo. La semilla, sometida a fitomejoramiento, aunada a otra serie de insumos, jugó un papel central.

El maíz y los fitomejoradores de México fueron piezas claves debido al papel que han desempeñado en el desarrollo de las variedades modernas y altamente productivas de América, especialmente en el llamado cinturón o faja maicera de los Estados Unidos. Por consiguiente, “el aspecto ecológico, la biodiversidad y la clasificación de los maíces de México son de interés no sólo para el mejoramiento del cultivo, sino también para los genetistas, y actualmente para la ingeniería genética y la industria agrobiotecnológica.” (Massieu y Lechuga, 2002). Hoy el maíz es la especie vegetal más estudiada del planeta.

En 1953 al desentrañar Watson y Crick la estructura del ácido desoxirribonucleico, (ADN en español; DNA en inglés) en la que se almacena la información hereditaria, se abrió la puerta al conocimiento profundo de la estructura genética de los seres vivos. Hacia finales del siglo, las técnicas de la ingeniería genética, posibilitaron tanto la modificación de esta estructura en organismos, como la introducción de genes de otro organismo con esta nueva tecnología, con lo que se abrió un parteaguas en las posibilidades del ser humano.

El desarrollo del conocimiento de la genética y su aplicación llevó a un especial interés en las fuentes de genes, por ello países como México, donde el nivel de variabilidad detectado tanto en ambientes como en especies es particularmente alto, es fundamental. Generalmente, los países que cuentan con la riqueza en biodiversidad carecen de la tecnología, de manera tal que para su utilización se fue valorizando la naturaleza en un proceso que la convirtió en “capital natural”. “El capital tiene ahora que buscar nuevas colonias que invadir y explotar para continuar con el proceso de acumulación, proceso denominado como ‘nuevos colonialismos del capital’ ” (Sánchez, *et al.* 2004).

La propia denominación como Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (RFAA) por los organismos internacionales como la Organización para la Alimentación y la Agricultura, da cuenta de la nueva concepción de la naturaleza. Con claridad señalan que “Si bien la diversidad genética representa el ‘cofre del tesoro’ de los rasgos potencialmente valiosos (...), está amenazada y se requieren esfuerzos especiales para conservarla tanto *in situ* como *ex situ*, así como para desarrollar una capacidad sólida para utilizarla, en particular en el mundo en desarrollo” (FAO, 2010).

De forma paralela a los avances de la ciencia occidental en el terreno de la genética, se incrementa el interés en la naturaleza vista como “capital natural”. Pero no solamente es el material genético el que es motivo de estudio de la ciencia occidental, el conocimiento —llamado con cierto desprecio ancestral, tradicional, antiguo, marginal— es asediado por la ciencia occidental por las posibilidades que abre sobre la naturaleza y la promesa de ganancias que su uso podría significar.

Los territorios que aún no han sido saqueados y que se consideraban fuera del ámbito de lo comercial están siendo los nuevos territorios en disputa: los recursos genéticos, los conocimientos ancestrales, los espacios en donde aún hay una naturaleza que “explorar y vender”, son los nuevos territorios en disputa ya no por Estados-Nación, sino por corporaciones transnacionales. Agotadas las posibilidades de la era industrial, el mercado “descubre” una nueva forma de riqueza: los genes, que hoy son considerados el “oro verde” del siglo biotecnológico (Rifkin, 1998).

El nuevo paradigma tecnológico crea nuevas formas de investigación científicas regidas por la lógica del mercado y consolidadas por formas específicas de propiedad, llamados derechos de propiedad intelectual (DPI) que transforma a las semillas y sus conocimientos asociados, en productos con valor agregado, con posibilidades de ser protegidos y apropiados por parte de las empresas biotecnológicas transnacionales constituyendo lo que Armando Bartra (2001) denominó “la renta de la vida”.

Sin embargo, la avidez del capital se enfrenta a una contradicción central: por una parte mediante la apropiación de la semilla busca controlar la agricultura y la alimentación del mundo, limitando la autosuficiencia indígena, campesina y local para producir alimentos; pero por otra, sabe que en ese sistema que se resiste a desaparecer, permanece y florece el conocimiento que el capital requiere para generar y expro-

piar plusvalor de las semillas. Hoy día, en plena aceptación del cambio climático, la biotecnología moderna ha mostrado sus limitaciones: por ejemplo, esta tecnología no ha podido modificar y menos controlar condiciones tan complejas de respuesta de las plantas al estrés hídrico; mientras que las variedades adaptadas a condiciones de sequía, son un logro de las comunidades que con su sistema propio de investigación están logrando, como hace miles de años lo hicieron con el teocintle, una amplia diversidad de variedades resistentes, promisorias de alternativas verdaderas a las condiciones ambientales adversas.

Las corporaciones transnacionales de semillas en México

En la década de los sesenta en México el gobierno tenía casi el monopolio de la investigación y de la reproducción de la semilla original, básica, registrada y certificada, mediante el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias (INIFAP); así como, la distribución y venta de la semilla mejorada a través de la Productora Nacional de Semillas (PRONASE). La participación de la iniciativa privada era muy limitada, hasta las negociaciones comerciales con América del Norte y las modificaciones de la regulación de 1991 se abrieron las puertas a las empresas privadas en igualdad de condiciones a la PRONASE y al INIFAP. En la actualidad “El sector público participa solo con el 6% de la producción de semilla (...) las compañías extranjeras predominan en el mercado de semillas al administrar más de 90 por ciento del capital que se maneja en el país por este concepto al año” (Ayala y Schwentesius, 2008).

A pesar de que aún subsisten 350 productoras de semillas certificadas en México, el mercado nacional de semillas, fundamentalmente híbridas de cultivos comerciales, se lo dividen dos empresas transnacionales: Monsanto y Syngenta y una pequeña parte, como se mencionó, al Gobierno. El 40 por ciento de la semilla que certifica SAGARPA es de Monsanto (Martínez, 2007).

De acuerdo a la Asociación Nacional de Semilleros, A.C. (AMSAC), el valor del mercado de semillas en México representa alrededor de mil millones de dólares, de los cuales 80 por ciento lo absorbe una veintena de empresas, en donde figuran las transnacionales Monsanto, Dow AgroSciences, Syngenta y Pioneer, con la participación de las empresas nacionales Royal de México, Grupo Ceres Internacional, Aspros y Semi-

llas Conlee Mexicana. En maíces, entre 60 y 70 por ciento de la venta de semilla híbrida la realizan firmas transnacionales (Perea, 2009).

Según Espinosa y Turrent, (2007) “la participación del sector privado en la industria de semilla en México ha cambiado radicalmente en la última década; en 1970 la participación del sector privado en la venta de semilla de maíz era de aproximadamente 13%, mientras que en 1993 fue de 90%, estimándose que en 2002 se incrementó hasta niveles de 96%”.

En el rubro de las semillas, Monsanto vende 60% del mercado total de semillas híbridas de maíz, y tiene ventas con un valor de \$110 millones de dólares. (Rudiño, 2007) Las ganancias de la corporación junto a sus ingresos por venta de agroquímicos asciende a \$250 millones de dólares anuales (Expansión, 2005).

En 2003, con la desaparición de PRONASE, Monsanto comenzó a dominar el negocio de la venta de semillas comerciales en México. Ya para el año 2006, México importó 18 mil 842 toneladas de semilla de maíz, monto 157 por ciento superior al de 2000, según estadísticas de la Secretarías de Agricultura y Economía (Martínez, 2007). Cruz López, entonces líder de la Confederación Nacional Campesina, declaró que el 90% del mercado nacional de semillas está en manos de 10 transnacionales (Norandi, 2007).

Un ejemplo del creciente predominio de las empresas privadas por sobre las entidades públicas es que el 74% de los títulos de obtentor de variedades de semillas de maíz otorgados por Sagarpa entre 2004 y 2008, pertenece a compañías privadas como se muestra en el Cuadro 1.

Esto lo confirman dos de los más importantes investigadores del INIFAP: “Del total de semillas mejoradas disponibles en México, el 92% pertenece a empresas privadas transnacionales, 5% a otras pequeñas empresas y sólo 3% es de variedades del INIFAP libres.” (Espinosa y Turrent, 2007).

Es evidente la expansión de las corporaciones dentro de la agricultura comercial, cubriendo las actividades que el Estado abandona. Sin embargo, la adopción de las semillas mejoradas certificadas no sólo es baja, sino que ha disminuido en los últimos años, como muestra la gráfica en la página opuesta.

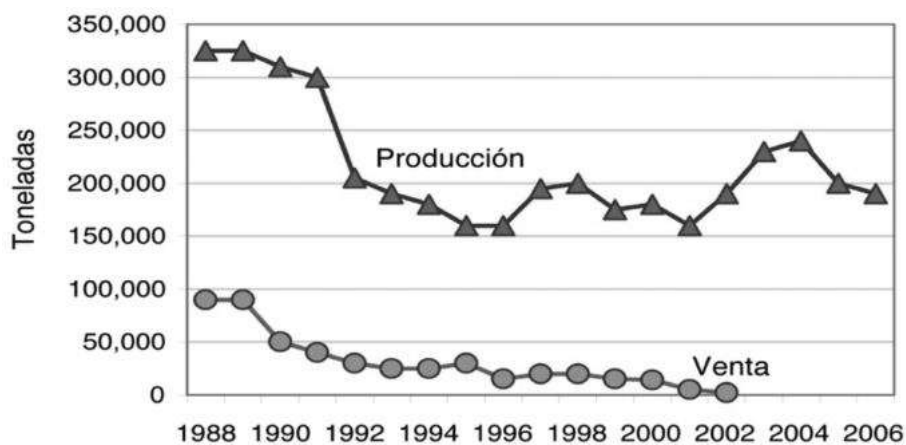
En contraste, las cifras sobre la importancia de las semillas de maíz nativo van del 60 al 85 por ciento: entre las diversas fuentes hay variación en los datos. De acuerdo a Monsanto citado por Martínez (2007) sólo 40 por ciento de la superficie de maíz es de siembra comercial y el

Cuadro 1. Títulos de obtentor en maíz otorgados entre 2004 y 2008

	2004	2005	2006	2007	2008	Total
INIFAP	13	8	-	6	1	28
Pioneer	25	22	4	5	2	58
Monsanto	6	8	-	5	-	19
Dow Agrosciences	-	-	-	-	2	2
Subtotal	44	38	4	16	5	107
% públicas	30	21	0	38	20	26
% privadas	70	79	100	62	80	74

Elaboración propia en base a Sagarpa, 2008.

Producción y venta de semilla certificada
1988-2006 (toneladas)



Fuente: Para ventas de semilla: Consejo Nacional Agropecuario, varios números, con datos de PRONASE. Para producción de semillas. SNICS. 1983-2004, en <http://www.sagarpa.gob.mx/snics>, consultado en junio de 2008.

Fuente: Ayala y Swentasius (2008)

resto de autoconsumo. Espinosa, *et al.* (2008), por su parte, considera que el 75 por ciento de la superficie nacional dedicada al cultivo de maíz se siembra con semillas nativas o criollas. En este sentido, el 60 por ciento de la producción de granos en México, no es producto de la agricultura industrial sino de la agricultura campesina e indígena de subsistencia, que produce anualmente 18 millones de toneladas de maíz en 8.5 millones de hectáreas; 70 por ciento de ellos con semillas nativas (CEDRSSA, 2007).

Con el control del mercado de las semillas híbridas, estas empresas no sólo juegan un papel determinante en la desestructuración del mercado nacional de las semillas, sino que a la larga buscan el control, la apropiación y la explotación de los recursos genéticos de las áreas indígenas y campesinas que son abandonadas, cuando se excluye a los productores de la actividad productiva. Al igual que ya ocurre en los Estados Unidos, el dominio de unas cuantas corporaciones del mercado de semillas híbridas de México, permitirían a dichas empresas realizar prácticas monopólicas relativas o absolutas al ejercer unilateralmente su poder sustancial en este relevante mercado. El impacto que dichas prácticas monopólicas en la industria de las semillas podrían tener sobre la cadena completa de la producción de alimentos podría ser muy grave, sobre todo para los eslabones más frágiles de la cadena: los campesinos e indígenas, los consumidores y el medio ambiente.

A pesar de la marginalidad en el uso de las semillas híbridas, la organización Agrobio México, que recibe fondos de las transnacionales Monsanto, Syngenta, Pioneer y Dow AgroSciences para promover la adopción de los transgénicos y contrarrestar las actividades de rechazo a los transgénicos desde la sociedad civil; proyecta que “la semilla transgénica absorberá 80 por ciento del valor de mercado que hoy tienen la semilla de maíz híbrido convencional en México, que es de 2 mil 500 millones de pesos”. (Arzate, 2009). De acuerdo a Fabrice Salamanca, quien fuera director de Agrobio México, una semilla transgénica cuesta entre 15 y 20 por ciento más que una híbrida que equivale a unos 600 pesos por hectárea, pero “se logra mayor productividad dado que en la agricultura tradicional se emplea a unas once personas, mientras que la siembra de semillas genéticamente modificadas sólo ocupa a una persona” (Arzate, 2009).

El análisis de la evolución de los permisos otorgados para siembra de transgénicos en México refleja sin lugar a dudas el avance de estas prácticas monopólicas por estas empresas.

Las autorizaciones otorgadas para la siembra de transgénicos en nuestro país se dividen en dos épocas, la primera corresponde al periodo cuando los permisos se evaluaron en base a la Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) y de la Norma FITO-056. La segunda cuando se comienza a utilizar la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM).

En el Cuadro 2 se observa que los permisos otorgados en el primer periodo que va de 1988 a 2005 fueron para experimentar con una amplia variedad de cultivos (23) y de organismos (3) lo cual puede demostrar un afán de investigación, mientras que en aquellos otorgado a partir de 2005 encontramos que se dieron para experimentar con tan solo 5 cultivos.

Por otra parte, si analizamos los permisos otorgados para el caso del maíz, en el Cuadro 3 se observa que si bien en un inicio estos fueron para instituciones públicas al paso de los años se concentraron en empresas transnacionales. En términos de porcentajes tenemos que el 90% de los permisos para experimentar con maíz transgénico realizados en México entre 1993 y 2011 se han otorgado a empresas transnacionales y del total 30% han sido para Monsanto. Cabe señalar que en los últimos años solo se observan 4 empresas que se presentan con diferentes nombres e incluso asociadas entre sí: Dow AgroSciences, Pioneer Hi-Bred (PHI), Syngenta y Monsanto. Sólo un experimento, el primero, fue para una institución pública nacional.

Continuando el análisis de los permisos otorgados para siembra experimental de maíz transgénico tenemos que a partir del 13 de abril de 2009 que se presentaron a consulta pública solicitudes para la liberación experimental de maíz transgénico hemos podido dar un seguimiento puntual a éstas solicitudes. A las cuales científicos reconocidos y diversas organizaciones han hecho comentarios en base al artículo 33 de la LBOGM. Sin embargo, estos no han sido considerados y se han concedidos los permisos.

De los 106 permisos otorgados en estos tres últimos años encontramos que además de beneficiar a 4 empresas trasnacionales, estos se han dado para experimentar tan sólo con 10 eventos, denominación que se le da a cada modificación genética, misma que corresponde a lo que en la Ley se conoce como caso. Por ello se dice que la evaluación se hace caso por caso. Estos 10 eventos se presentan en el cuadro 4.

Cabe señalar que muchos de estos eventos se presentan “apilados” lo cual significa que se suman dos eventos en una sola solicitud.

Cuadro 2. Permisos otorgados bajo diferentes marcos jurídicos
1988-2009

Pruebas de campo aprobadas conforme a la lfsv y la NOM FITO 056		Permisos de liberación conforme a la LBOGM	
Organismo	Total	Organismo	Total
Alfalfa	3	Alfalfa	2
Algodón	113	Algodón	157
Arabidopsis	1	Maíz	40
Arroz	1	Soya	30
<i>Bacillus thuringiensis</i>	1	Trigo	2
Calabacita	47	Total	231
Canola	1		
Cártamo	2		
Chile	1		
Clavel	1		
Jitomate	3		
Laurate canola de colza	1		
Limón	1		
Lino	1		
Maíz	34		
Melón	7		
<i>Pseudomonas sp</i>	1		
Papa	6		
Papaya	5		
Piña	1		
Plátana	7		
<i>Rhizobium elli</i>	1		
Soya	53		
Tabaco	6		
Tomate	26		
Trigo	6		
Total	330		

Fuente: CIBIOGEM, 2011.

Cuadro 3. Permisos otorgados para experimentos de maíz genéticamente modificado por tipo de Institución promovente

Año solicitud	Institución	Tipo de institución y tipo de financiamiento	Cantidad Experimentos
1993	CINVESTAV	Pública nacional	1
1994	CIMMYT	Pública internacional*	2
1995	CIMMYT	Pública internacional*	1
1996	CIMMYT	Pública internacional*	5
1996	Asgrow Mexicana S.A. de C.V	Privada internacional	2
1996	Pioneer	Privada internacional	1
1997	Mycogen Mexicana S.A. de C.V. (de Dow AgroSciences)	Privada internacional	1
1997	Monsanto	Privada internacional	3
1997	CIMMYT	Pública internacional*	1
1997	Asgrow	Privada internacional	4
1997	Monsanto	Privada internacional	3
1997	Híbridos Pioneer	Privada internacional	3
1998	Monsanto	Privada internacional	1
1998	CIMMYT	Pública internacional*	2
1998	Asgrow Mexicana	Privada internacional	3
1998	Híbridos Pioneer	Privada internacional	1
1999	CIMMYT	Pública internacional*	2
2005	Dow AgroSciences de México, S.A. de C.V	Privada internacional	1
2005	PHI México S.A. de C.V.	Privada internacional	2
2005	Semillas y Agroproductos Monsanto S.A. de C.V	Privada internacional	3
2005	Monsanto Comercial, S.A. de C.V.	Privada internacional	1
2009	Dow AgroScience/PHI México S.A. de C.V	Privada internacional	15
2009	Monsanto Comercial S.A de C.V.	Privada internacional	19

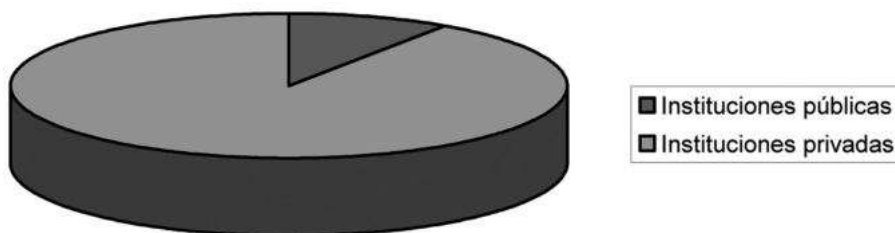
Cuadro 3. Permisos otorgados para experimentos de maíz genéticamente modificado por tipo de Institución promovente

Año solicitud	Institución	Tipo de institución y tipo de financiamiento	Cantidad Experimentos
2010	Syngenta Agro S.A de C.V.	Privada internacional	10
2010	Monsanto Comercial S.A. de C.V.	Privada internacional	6
2010	Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A. de C.V.	Privada internacional	9
2010	PHI México, S.A. de C.V.	Privada internacional	15
2010	PHI México, S.A. de C.V. / Dow AgroSciences, S.A. de C.V.	Privada internacional	26
2010	Dow AgroSciences de México, S.A. de C.V.	Privada internacional	1
2011	PHI México, S.A. de C.V.	Privada internacional	5
Total			149

* El Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT) es una institución con recursos públicos y privados, internacionales.

Fuente: Elaboración propia con datos de SENASICA, SAGARPA y CIBIOGEM.

Permisos otorgados por tipo de institución promovente



Fuente: Elaboración propia con datos de SENASICA, SAGARPA y CIBIOGEM.

Cuadro 4. Eventos para los que se han otorgado permisos del 2005 al 2011

No.	Evento	Característica
1	MON-00603-6	Tolerancia al herbicida glifosato
2	MON-89034-3	Resistencia a insectos lepidópteros y tolerante al herbicida glifosato
3	MON-88017-3	Resistencia a insectos coleópteros y tolerante al herbicida glifosato
4	MON-00810-6	Protección contra algunos insectos lepidópteros
5	MON-00021-9	Tolerancia al glifosato.
6	DAS-01507-1	Resistencia a insectos lepidópteros y tolerante al herbicida glufosinato de amonio
7	DAS-59122-7	Protección contra algunos Insectos coleópteros y con tolerancia al herbicida que contienen el ingrediente activo glufosinato de amonio
8	SYN-BT-011-1	Tolerancia al herbicida glufosinato y resistencia a insectos lepidópteros.
9	SYN-IR162-4	Tolerancia a especies de insectos plaga del cultivo
10	SYN-IR604-5	Tolerancia a especies de insectos plaga del cultivo

Fuente: Elaboración propia con datos de CIBIOGEM.

Llama la atención que la característica que predomina sea la tolerancia a herbicida y la resistencia a algunos insectos, aún cuando se ha publicitado ampliamente por parte del gobierno y las empresas que esta tecnología salvaría al campo mexicano “al mejorar los rendimientos”, y últimamente, gracias a la posibilidad de conferir “resistencia a la sequía”. Cabe señalar que estas características difícilmente se pueden introducir con una transformación genética pues involucran un conjunto de genes y condiciones ambientales de respuesta de la planta. En Estados Unidos se ha demostrado que los transgénicos no aumentan los rendimientos (UCS, 2009), incluso las empresas así lo han reconocido al señalar “que no existen en el mercado cultivos transgénicos que incrementen intrínsecamente los rendimientos”. (Salamanca, 2010).

Además, se ha expuesto reiteradamente que la tolerancia a herbicidas significa el aniquilamiento del sistema de cultivo de la milpa,

sistema agrícola en el que conviven de manera armoniosa diversos cultivos: frijol, chile, calabaza. Al sembrar un maíz resistente a herbicida estamos suponiendo que los cultivos que acompañan al maíz son “malas hierbas” que serán combatidas con el herbicida que se aplique. Además, es evidente y la experiencia de Estados Unidos y Argentina lo ha demostrado, que el uso de herbicidas se incrementa; Benbrook revisó la información que muestra que el uso de herbicida bajo la tecnología en maíz, incrementa el uso de herbicidas en 30% con respecto a la tecnología convencional con maíz no transgénico. (Benbrook, 2003. Aunado a lo anterior, el herbicida glifosato (marca comercial Roundup Ready) el cual produce Monsanto, es altamente tóxico como lo corrobora la resolución de la Corte Internacional de Justicia de la Haya (Restrepo, 2009).

Es importante observar que la mitad de estas modificaciones genéticas del maíz —5 de 10— son de una sola empresa: Monsanto, lo cual abre la posibilidad a prácticas monopólicas que esta empresa pueda ejercer sobre las semillas de maíz, a través del establecimiento de patentes. Otra expresión de la extrema monopolización que se está permitiendo e incluso, favoreciendo en nuestro país se observa al revisar las características de los 106 permisos concedidos durante 2009, 2010 y 2011: en 86 de los permisos está involucrado por lo menos un evento MON, es decir que el 81% de los permisos benefician a la empresa Monsanto. Lo que es de resaltar es que muchos de los permisos con eventos MON son otorgados para empresas diferentes a Monsanto, lo cual hace suponer acuerdos entre las empresas.

Investigadores y miembros de la sociedad han señalado que existen una gran cantidad de argumentos científicos y técnicamente sustentados para negar los permisos. A partir de 2009 cuando se presentaron las primeras solicitudes se hizo un esfuerzo por parte de diversos sectores para verter comentarios. A continuación presentaremos algunos.

En los comentarios enviados a las solicitudes se ha reiterado por parte de los científicos que existen insuficiencias en cuanto a garantizar el biomonitoreo y la bioseguridad. Se ha llamado la atención en torno al endeble sistema de bioseguridad que México tiene, el cual debe fortalecerse previamente a la liberación en cualquier etapa de maíz transgénico. En el análisis realizado de las solicitudes observaron que se carecía de información fundamental que permita garantizar la bioseguridad de las variedades nativas, variedades mejoradas e híbridos de maíz (*Zea mays* subespecie *mays*), así como sus parientes

silvestres (otras especies y subespecies del género *Zea* existentes en nuestro país).

Por su parte el Dr. Turrent, el Dr. Garza y el Dr. Espinosa, investigadores del INIFAP, explicaron las implicaciones de esta tecnología desde la perspectiva de la producción agropecuaria. Un punto muy importante que señalan se refiere a la necesidad de medir con precisión científica y no sólo empírica, la efectividad de los eventos contra las plagas. Para ello, indicaron que es necesario coleccionar —sistemática y exhaustivamente— las poblaciones de las plagas-blancos en las áreas donde se haría la liberación de maíz transgénico y estudiar, en el laboratorio e invernadero, la actividad insecticida del evento a experimentar. Esta observación demuestra que no es necesario realizar experimentos en campo que impliquen liberaciones para probar estos eventos.

Reiteradamente se ha señalado que es innecesario realizar estos experimentos al aire libre, incluso en la lista de ensayos autorizados en el periodo de 1995 a 1999 es posible reconocer, pues no es suficientemente detallado, por lo menos tres de los eventos para los que se han autorizado permisos. Si ya fueron probados en México antes de que se estableciera la moratoria a la siembra de maíz transgénico, no se observa la necesidad de experimentar nuevamente.

De hecho los investigadores del INIFAP detectaron fallas en el planteamiento experimental tales como la falta de información, que resulta fundamental tanto para evaluar la supuesta utilidad de estas siembras, como para obtener información que sea de utilidad, tanto para incrementar los conocimientos nacionales en torno a la bioseguridad de estos cultivos genéticamente modificados, como para determinar su utilidad agronómica. Ellos señalaron en su comentario que “Las hipótesis implícitas de la serie de experimentos planteados en las solicitudes para liberación en programa experimental de maíz transgénico puestas a consulta por SENASICA son incompletas, irrelevantes y engañosas para el universo (liberación comercial) de aplicación del conocimiento derivado de este cotejo experimental.”

A lo largo de estos tres años ha resultado evidente que más que realizar experimentos verdaderos, que prueben la utilidad de esta tecnología, lo que se busca es cumplir con los procedimientos previstos en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados para lograr la siembra comercial de transgénicos. Adicionalmente, el objetivo parece ser establecer el maíz transgénico en México y convertir estas parcelas pseudo experimentales en una especie de focos de infección a

partir de los cuales se disperse, sin posibilidad de retorno, la tecnología transgénica.

La defensa popular del maíz

El proceso de cercamiento y apropiación del maíz ha llegado a un punto clave a partir de la irrupción de los transgénicos en México. Desde 1999 observamos que se han multiplicado diversos procesos de concientización, conocimiento, organización y trabajo en defensa de la propiedad colectiva de las semillas de maíz, particularmente en las comunidades campesinas e indígenas. La disputa por el maíz ha cobrado forma a través de un proceso de reconocimiento, revalorización y reafirmación de la propiedad colectiva inalienable de las semillas, así como de los conocimientos campesinos e indígenas ligados a ellas.

El conocimiento, la acción y los acuerdos colectivos sobre este tema han evolucionado muy rápidamente desde que en 1999, el entonces Subsecretario de SAGARPA, Víctor Villalobos, opinaba que las organizaciones de la sociedad civil no sabían nada de biotecnología y por tanto no debían participar en su discusión (Marielle, *et al.* 2007).

Al finalizar el milenio pasado cuando el debate sobre los transgénicos crecía en el mundo, en México se inició un esfuerzo por conocer y adentrarse en la información. Los primeros eventos con este fin fueron organizados por el Colectivo Ecologista de Jalisco, en marzo de 1998 el primero se llamó “La ciudadanía ante la propiedad intelectual de las semillas y las plantas medicinales” (Ruiz, 2006) y el Foro “Maíz, patentes y ciudadanía” celebrado en el Congreso estatal de Morelos en agosto del mismo año. En ambos eventos ya se alertaba sobre las graves implicaciones del uso de esta tecnología para los pueblos campesinos e indígenas de México, así como el riesgo del abuso de las corporaciones sobre el maíz como patrimonio fundamental para la Nación.

En 1999, Greenpeace México da a conocer el inicio de las negociaciones del Protocolo de Bioseguridad, en Cartagena, Colombia, manifestando especial preocupación por la introducción a México de miles de toneladas de maíz transgénico provenientes de Estados Unidos. Esta organización inicia una campaña pública por la protección del maíz en su centro de origen. (Covantes, 1999). Ese mismo año, la Red de Permacultura y 120 organizaciones más, solicitaron al presidente Zedillo, la moratoria a los transgénicos en todas sus aplicaciones, particularmente

en la del maíz. La moratoria fue denegada en razón de los compromisos internacionales de México. (Ruiz, 2006).

Sin embargo, en lo que se considera un gran logro, en el que influyeron relevantes estudios y discusiones realizados en torno al maíz, el 3 de septiembre de 1999 el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) anunció que suspendía la recepción de solicitudes para siembra experimental de maíz genéticamente modificado. Con ello se instaló la moratoria para el cultivo de maíz transgénico en México, se le llamo de *facto* pues no tenía un vínculo jurídico, mas bien obedecía a un acto de la autoridad.

Buscando tener una mayor presencia en el ámbito político las empresas biotecnológicas crean en 2000 la oficina en México de la organización Agrobio bajo los auspicios de las empresas Aventis, DuPont, Monsanto, Novartis y del grupo financiero mexicano Pulsar, Savia. Agrobio surge como una asociación civil con posibilidades de participación en la vida pública con el objetivo de promover la biotecnología en la agricultura de México. Esta nueva organización urge al Congreso de la Unión a completar el marco regulatorio en bioseguridad. La discusión de la Ley de Bioseguridad de organismos genéticamente modificados (LBOGM) dio inicio desde 1999 con un Foro desarrollado en el Senado de la República.

Por otra parte, el debate cobró una perspectiva internacional cuando en 2001 se detectó la presencia de maíz transgénico en plantaciones de maíz nativo en la Sierra de Oaxaca. Animados a trabajar en la zona por la Unión Zapoteca-Chinanteca, los investigadores Ignacio Chape-la y David Quist publicaron en la revista Nature sus hallazgos sobre la presencia de maíz transgénico en esta zona. Este artículo desató una polémica no sólo en el ámbito nacional sino en la propia Universidad de Berkeley en donde trabajan estos investigadores. Esta investigación provocó que en 2002 las comunidades afectadas solicitaran a la Comisión de Cooperación Ambiental (CCA) la realización del estudio “Maíz y biodiversidad: efectos del maíz transgénico en México”.

Tanto los resultados de este estudio, como la amplia discusión en torno a la Iniciativa de la LBOGM que se dio en la Cámara de Diputados durante 2004 marcaron un parteaguas en la lucha contra el maíz transgénico, toda vez que se incluyeron una amplia diversidad de actores sociales. Este debate concluyó con la aprobación de la LBOGM, al vapor, sin atender la mayor parte de las preocupaciones sociales, ni el mencionado estudio de la CCA y bajo la presión de la industria biotecnológica (Massieu,

2006). A partir de ese momento el maíz transgénico dejó de ser un tema exclusivo de los científicos, expertos e investigadores para convertirse en un asunto de interés público con una creciente visibilidad en los medios de comunicación, particularmente los nuevos medios electrónicos.

En marzo de 2005 se publica en el Diario Oficial de la Federación la LBOGM bautizada “Ley Monsanto” por las comunidades oaxaqueñas. A pesar del claro impulso por parte de los cabilderos de la industria biotecnológica, y gracias a la participación social en el Congreso, esta Ley incluyó una serie de mecanismos de bioseguridad con el objeto de salvaguardar la calidad de México como centro de origen de diversas especies, en particular el maíz. Entre otros cabe destacar el Régimen de protección especial del maíz (Artículo 2, fracción XI) y aun cuando no se estableció con claridad que todo México es centro de origen del maíz y esto quedó pendiente por definirse, si quedó señalado en el Artículo 88 de la Ley la prohibición sembrar transgénicos de las especies nativas en los centros de origen y de diversidad genética de especies animales y vegetales. (DOF, 2005).

Frente al atropello que significó la aprobación de la LBOGM la respuesta fue el notorio fortalecimiento de la organización y del discurso en contra de los transgénicos. Se sumaron connotados científicos mexicanos, así como, intelectuales. Asimismo, fue el punto de arranque de un proceso de discusión masivo en el que las comunidades indígenas y campesinas tomaron la iniciativa para defender sus maíces como bien común vital, a través de procesos propios y autónomos.

A partir de entonces el trabajo en relación a los transgénicos se generaliza y se consolida en diversas líneas de acción: aquel que se comenzó a dar como una respuesta creativa frente al proceso de apropiación de las semillas. Así en las comunidades campesinas e indígenas se han multiplicado diversos procesos de reconocimiento, revalorización y reafirmación de la propiedad colectiva inalienable de las semillas, así como de los conocimientos propios ligados a ellas. Esto se ha traducido en una gran cantidad de experiencias de fondos o bancos de semillas y ferias de intercambio a todos los niveles: locales, regionales e incluso nacional como fue la Feria de la Milpa que se realizó en la UNAM en mayo de 2010.

Otra de las vertientes que ha consolidado es el sustento científico a esta lucha, la creación en 2006 de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS) ha tenido gran relevancia al agrupar a científicos de gran reconocimiento y sin conflicto de interés. Ellos han

puesto su empeño en desarrollar algunas investigaciones fundamentales para dar cuenta de los riesgos que esta tecnología implica.

Durante 2006 se lograron detener los permisos para siembra de maíz transgénico mostrando la ilegalidad en que incurría el Ejecutivo. Desde entonces diversos grupos hemos afirmado que el Gobierno mexicano ha violentado sistemáticamente la endeble LBOGM.

Diversas organizaciones han impulsado una línea de trabajo para dar seguimiento legal a las siembras de transgénicos. Esta labor ha significado interponer diversos recursos jurídicos: demandas de amparo, procedimientos contra funcionarios públicos, denuncias populares, incluso una controversia constitucional. Asimismo, se ha participado en las instancias públicas determinadas por la Ley. El resultado es difícil de evaluar pues si bien es cierto, que en el ámbito jurídico recurrentemente no ha entrado al fondo del asunto negándonos, en todos los casos, la personalidad jurídica, consideramos que se ha logrado detener el avance de los transgénicos. La legalidad constituye un impedimento pues el gobierno constantemente se refiere a la necesidad de dar certeza jurídica a los particulares.

Finalmente, se ha trabajado muy intensamente en la difusión de información desde diversas perspectivas y en diversos ámbitos; aprovechando las nuevas tecnologías, se ha buscado diseminar información, rápida y eficazmente. Además, se han utilizado estas herramientas para convocar a realizar acciones puntuales que se multiplican y diversifican.

El trabajo descentralizado en red que ha realizado la Campaña nacional *Sin maíz no hay país* ha mostrado la utilidad de actuar coordinadamente entre diferentes organizaciones de diferentes sectores con diferentes especialidades, conocimientos y habilidades, creando sinergias y proyectos conjuntos con los pueblos indígenas afectados, a través de las autoridades locales, con sus propias formas de organización.

Consideramos que el proceso ha contribuido a recrear un sentido comunitario que se encontraba latente en habitantes de las ciudades y ha permitido revalorar y resignificar al campo para las poblaciones urbanas a través de actividades como la Velada contra el maíz transgénico celebrado en el Zócalo de la ciudad de México en el 2009 y el Día Nacional del Maíz que se ha celebrado desde el 2009 en diversas zonas del país y fuera del mismo.

Las experiencias de los primeros años de discusión pública sobre los transgénicos mostró que frente al poder económico y mediático de las corporaciones biotecnológicas, es útil construir alianzas y confluencias entre organizaciones campesinas, indígenas, ambientalistas, de

derechos humanos, de consumidores, ciudadanas y con académicos y científicos sin conflictos de interés. La característica más constante de los esfuerzos en contra del maíz transgénico en México es la diversidad de propuestas, discursos y estrategias; decididas de forma descentralizada, sin jerarquías y sin coordinación única de esfuerzos.

La defensa del maíz como bien común de México, ha logrado hacerse desde diversas trincheras, fortaleciendo identidades y organización colectivas en comunidades campesinas, indígenas y urbanas. Este ejercicio de derechos colectivos por la defensa del maíz, se inscribe dentro de la concepción de comunalidad descrita por Floriberto Díaz, en la que la relación con la naturaleza cobra un sentido diverso.

Comunalidad: *somos semilla habitando en mazorca*

El maíz no sólo permitió el surgimiento de la diversidad de pueblos mesoamericanos, sino que les ha permitido sobrevivir a los embates del capitalismo, desde los primeros años de la conquista y colonización hasta los procesos de agrocidio de nuestros neoliberales tiempos.

Con el sustento garantizado por el maíz, los pueblos indígenas y la civilización mesoamericana sobrevivieron a los embates y despojos del capital. El maíz permitió a los pueblos indígenas de América sobrevivir a la imposición de un modo de vida ajeno, regido por el capital y mantuvo vivos modos de vida, organización social y producción, autónomos a la lógica del capital.

“Los testimonios de este largo proceso civilizatorio nos rodean por todos los rumbos. Siempre tenemos ante nosotros un vestigio material, una manera de sentir o hacer, un nombre, un alimento, un rostro...” (Bonfil, 1990). A la fecha las expresiones culturales y religiosas que muchos pueblos mexicanos celebran están regidas por la actividad agrícola y centradas en el maíz.

Mientras para la ciencia occidental dominante, los estudios de la propiedad común y la gestión de uso de recursos comunes (RUC, conforme propone Ostrom, 2000) son conceptos relativamente nuevos, la noción de comunidad y de propiedad común es añeja entre los pueblos mesoamericanos. Se definen como “aspectos de la vida que, desde tiempos remotos, han quedado al margen del proceso de mercantilización y, más recientemente de *subsunción real* del capital... aceptados como de propiedad colectiva”. (Sánchez, *et al.* 2004). Incluso según Ostrom,

(2000) “todavía no contamos con herramientas o modelos intelectuales necesarios para comprender los problemas asociados con la regulación y administración de sistemas de recursos naturales, así como las razones por las cuales algunas instituciones funcionan en algunos medios y no en otros”.

De acuerdo a Shiva, (s/f) “existen enormes diferencias entre la apropiación de recursos creada en Europa durante el movimiento de cercamiento y ejercida durante el dominio colonial, con la ‘propiedad’ como ha sido practicada por tribus, pueblos y campesinos a través de la historia en diversas sociedades. La primera está basada en la propiedad privada, sobre los conceptos de ganancias sobre inversiones hechas con ánimo de lucro. La segunda está basada en el reconocimiento de derechos a través del usufructo, sobre los conceptos de ganancias sobre el trabajo para proveer para nosotros mismos, nuestros hijos, nuestras familias, nuestras comunidades. Los derechos de usufructo pueden ser privados o comunitarios, cuando son esto último definen la propiedad común”

En México persisten formas diversas de apropiación, intercambio, organización y creación de recursos diversos. La propiedad no es el concepto que rige la apropiación y gestión de recursos, la naturaleza como todos los elementos que la integran están regidos por una particular relación entre los humanos y la naturaleza.

El mejor referente de este modo de vida es la comunidad indígena. Floriberto Díaz, escritor mixe, propone buscar el entendimiento de la misma desde la perspectiva indígena “porque pueden entenderse cosas diferentes y hasta contradictorias. Al revisar los significados en diversos diccionarios se observa que en la mayoría, el concepto (refiriéndose al concepto de comunalidad) va a dar una idea relacionada con la propiedad.... Para otros es un simple agregado de individuos... Se trata de una comunidad aritmética.” (Díaz, 2007).

“Para los propios indios la comunidad indígena es geométrica, los elementos que la componen son: un espacio territorial, una historia común una lengua, una organización y un sistema de justicia... Es decir, no se entiende una comunidad indígena solamente como un conjunto de cosas o personas, sino personas con historia, pasado, presente y futuro, que no sólo se pueden definir concretamente, físicamente, sino también espiritualmente en relación con la naturaleza toda... En una comunidad se establece una serie de relaciones primero entre la gente y el espacio, y en segundo término, de las personas entre sí...” (Díaz, 2007).

En México, el dominio sobre esta Tierra, lo que para el capitalismo son bienes claves para la reproducción social, como es la tierra, los llamados recursos naturales, entre ellos la semilla, descansa en manos campesinas e indígenas. El 54 por ciento del territorio mexicano pertenece a pueblos indígenas y campesinos (Concheiro, 1995). Esta propiedad social de la tierra, con antecedentes históricos que se cuentan por siglos, establecen un escenario único, en la medida en que los llamados recursos naturales están en estos territorios. Boege señala que “Los territorios indígenas son verdaderos laboratorios bioculturales donde, con un peso histórico-cultural importante, se practica todavía el intercambio entre plantas silvestres, arvenses o ruderales y plantas netamente domesticadas. Esta extraordinaria riqueza se encuentra en los territorios indígenas de México.” (Boege, 2008).

Estos factores le dan a la realidad mexicana una complejidad muy particular pues cuando señalamos que somos, con Mesoamérica, centro de origen y diversidad genética del maíz, esta afirmación tiene implicaciones amplias que es necesario puntualizar. Por una parte denota el concepto clásico de centro de origen en cuanto a la “zona geográfica en donde se encuentra un máximo de diversidad de cultivo y en el que coexisten o coexistieron sus parientes silvestres” (Serratos, 2009); por otra parte, incluye también “el proceso de interacción entre la humanidad y la naturaleza, iniciado hace más de seis mil años por nuestros antepasados, mediante el cual transformaron a los ancestros silvestres, centralmente el teocintle, para inventar y desarrollar el maíz” (Kato, *et al.* 2009).

Inscrito en la concepción de comunalidad el maíz es “el fruto máspreciado de la relación que se establece entre la gente y la naturaleza, mediante el trabajo colectivo,... el tequio y brota de las entrañas maternas de la tierra.” Al ir desgranando esta relación profunda, Floriberto Díaz señala: “Llegar a reflexionar esto, y hacerlo parte de la concepción de la vida y de la muerte, llevó a nuestros antepasados muchos años. La observación atenta del movimiento de las plantas y de los astros, y paralelamente mirarse a sí mismos, hizo a la gente antigua capaz de desarrollar el conocimiento de las plantas y de los animales que pueblan la tierra...” (Díaz, 2007).

Los indígenas y campesinos en México mantienen la actividad agrícola como eje de su esquema de reproducción, siguen desarrollando un modelo propio para conservar y seguir generando conocimientos alrededor de las semillas, preservándolas y fomentando su intercambio,

ya sea libre o bien, en mercados locales controlados por ellos mismos. Las prácticas campesinas e indígenas aprendidas de generación en generación mantienen procesos constantes de experimentación y mejoramiento con lo cual logran innovaciones y adaptaciones de los cultivos a los desafíos ambientales y productivos actuales; ejerciendo además su derecho histórico sobre las semillas por encima del cercado que ha querido privatizarlas.

La geografía de México favorece la rápida diferenciación, pues posee varias clases de factores aislantes. Además, las condiciones de producción del maíz son extremadamente complejas y son resultado de una matriz de variables sociales, económicas, tecnológicas y naturales. En cuanto a las características naturales es claro que “probablemente el rasgo más importante de la producción de maíz en México es su alto grado de heterogeneidad. Las variedades de maíz mexicanas están bien adaptadas a cambios de humedad, clima, plagas, vientos, bajas de nitrógenos y suelos ácidos.” (Nadal, 2002).

Durante siglos, los campesinos han aprovechado estas ventajas y en virtud de que es un cultivo de polinización abierta, han cruzado maíz cultivado con parientes silvestres o malezas, de esa manera han orientado la evolución de nuevas variedades de maíz adaptadas a sus necesidades, preferencias y entornos locales. Las poblaciones de maíz en poder de los agricultores continúan evolucionando, elevando su rendimiento y en ocasiones su resistencia a factores adversos, ganando especialización para muchos hábitats del agro y para usos especiales, cada nuevo ciclo de maíz, en forma dinámica avanza la selección autóctona en millones de parcelas, tantas como productores existen, que cultivan y seleccionan su propia semilla, cosa que no sucede con las muestras conservadas en los bancos de germoplasma, cuya condición es completamente estática.

El hecho de ser centro de origen del maíz con su “prodigiosa diversidad de formas, texturas, colores, comportamientos y adaptaciones geográficas con la que muy pocas especies cultivadas se le comparan”. (Kato, *et al.* 2009) implica que en nuestro territorio existen miles de variedades nativas, así como, sus parientes silvestres. Esto significa que somos el reservorio genético natural del maíz. Sumado a ello, los más importantes especialistas del maíz de Estados Unidos y de México reconocen que de manera constante en el campo mexicano, se sigue generando innovaciones por manos campesinas al experimentar de manera empírica con los cultivos y al llevar a cabo lo que se conoce como *mejoramiento campesino*.

La diversidad de poblaciones de maíz que cultivan los campesinos en las comunidades rurales mexicanas es asombrosa. Hasta a ellos les llama la atención, cuando se exponen en forma conjunta las muestras reunidas de muchos vecinos en una parcela demostrativa (Ortega, 2003). Las poblaciones nativas de maíz presentan rasgos de gran valor en términos agronómicos, tal vez el más sobresaliente es la gran capacidad de adaptación a las múltiples condiciones ambientales, de manera tal que encontramos maíz sembrado en diversas regiones y climas: desde el nivel del mar hasta los tres mil metros sobre el nivel del mar.

México es, pues, un país clave para la preservación de la riqueza de diversidad biológica y de agrobiodiversidad crucial para la agricultura y la alimentación en el mundo y por ello, también es blanco del interés de las grandes corporaciones transnacionales interesadas en lucrar con los bienes comunes.

Las formas en que logremos defender a nuestra planta sagrada, accesible al resto de la humanidad, con su multiplicidad de sentidos, valores, usos y aprovechamientos comunitarios será claves para resolver la disputa sobre el maíz y sobre la alimentación humana en el planeta, así como para preservar la diversidad de modos de vida, conocimientos y comunidades humanas que ofrezcan alternativas al modelo mercantil dominante.

La resistencia en México a la siembra de maíz transgénico no sólo es respuesta de defensa de la reproducción propia de los pequeños productores: campesinos e indígenas que además de cuestionar la apropiación y control sobre las semillas, desarrollan un esquema de defensa y promoción de las semillas, bajo su propia comunalidad en esquemas propios de gestión, con los que sobreviven al absolutismo mercantil.

Cabe preguntarse si la continuidad de la investigación, experimentación y mejoramiento realizado por los campesinos en torno a la milpa; aunada al impulso de fondos de semillas comunitarios, ferias de intercambio de semillas, zonas libres de transgénicos, redes y uniones de pueblos en defensa del maíz, redes de tianguis orgánicos, festivales de gastronomía del maíz, talleres, foros y reuniones de ciencia indígena que se llevan a cabo por todo el país; resultan sólo una estrategia de resistencia o si además se construye un modelo alternativo al capitalismo que hoy mantienen y renuevan los sujetos responsables de la generación y mantenimiento de la biodiversidad, de la cual depende el futuro de la alimentación en el mundo.

Una propuesta civilizatoria en todos los sentidos: desde una cosmovisión que implica una forma diferente de concebir al mundo de las relaciones con la naturaleza, con las plantas; pasando por una propuesta de ciencia, tecnológica de cómo desarrollar la agricultura y producir nuestros alimentos; hasta qué alimentos consumimos y de qué calidad, incluso de salud con opciones en la medicina herbolaria.

El maíz construyó comunidad y la comunidad hizo al maíz, en una relación simbiótica en donde uno no se explica sin el otro. Este lazo fundacional es lo que permite que la defensa del maíz se realice cotidianamente desde un marco diverso, en el que están presentes determinantes culturales más que económicos. Porque finalmente, “la sacralidad de la tierra no admite la división o la posesión. Ni de la gente sobre la tierra y los recursos naturales, ni de una gente respecto a otras gentes. La integralidad de todos los elementos naturales y los seres vivos explica la primacía de la comunidad y de la familia, frente al individuo, respeta los intereses comunitarios, se respeta a sí mismo, pero también merece el respeto de la comunidad y su familia. La sacralidad es alegría, es comprensión, es apoyo mutuo, es compartir lo que cada familia tiene, es un don. Por eso hacemos fiestas, y estas fiestas están ligadas originalmente al ciclo del trabajo con el maíz: fiesta del barbecho, fiesta de la siembra, fiesta del nuevo maíz, fiesta de la cosecha.” (Díaz, 2007).

Frente a ello “...el capital y sus empresas terminan por considerar que la vida puede ser objeto de apropiación privativa, porque la actividad científica (por supuesto: de su ciencia) es el único lugar que puede construirla y mejorarla.... con esa única forma de conocimiento (la ciencia del capital) el capital transnacional pretende monopolizar las bases de la vida, devaluando otros saberes como los tradicionales y los de una ciencia independiente del capital, al considerarlos no susceptibles de producir innovaciones y conocimiento. No se reconoce entonces el papel clave del conocimiento tradicional ni los derechos legítimos de los productores, de los pueblos indígenas y comunidades locales cuando, paradójicamente, son éstos los principales productores de conocimiento e innovación en relación al uso sostenible de los recursos biológicos” (Sánchez, *et al.* 2004).

Esta es la disputa central entre sistemas de pensamiento, “esto es lo que ha sido perseguido a partir de 1492, en unos más, en unos menos tiempo, según como les tocó la invasión de los europeos. Unos resistieron y pudieron seguir enseñando lo aprendido, otros tuvieron que esconderlo en los secretos de la noche y de los lugares alejados, a otros

les tocó la violencia más dura y por la fuerza abandonaron y olvidaron todo lo propio, cambiando sus creencias y sus fiestas por las que fueron impuestas por los misioneros.” (Díaz, 2007).



Fotografía: César Carrillo Trueba.

Referencias

- Arzate, S. (2009). Planea agroindustria que maíz transgénico absorba el 80% del mercado de semilla convencional”. *Imagen agropecuaria 1 de junio*.
- Ayala A.V y Schwentesius R., (2008). Semillas mejoradas. En Schwentesius R (coord). *Recursos naturales, insumos y servicios para el agro mexicano*. México: Universidad autónoma de Chapingo, 91-92.
- Bartra, A., (2001) La renta de la vida. *Cuadernos Agrarios Biopiratería y bioproyección No. 21*. México, 19-23
- Bartra, A., (2010). *Campesindios. Aproximaciones a los campesinos de un continente colonizado*. Bolivia: Instituto para el desarrollo rural de Sudamérica.

- Benbrook, C. (2003). Impacts of Genetically Engineered Crops on Pesticide Use in the United States: The First Eight Years. *BioTech InfoNet Technical Paper Number 6*.
- Benz, B., (1997) Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano. *Revista de Arqueología Mexicana Vol V. No. 25* mayo-junio, 16-23.
- Bernal, J. , (1979). *La ciencia en la historia*. Nueva Imagen, México.
- Boege, E. (2008). *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México. Hacia la conservación in situ de la biodiversidad u agrobiodiversidad en los territorios indígenas*. México: INAH-CONADEPI..
- Bonfil Batalla, G., (1990). *México profundo, una civilización negada*. Consejo Nacional para la Cultura y las Artes. México: Editorial Grijalbo.
- CEDRSSA, (2007). *Maíz indicadores básicos. H. Cámara de diputados Centro de estudios para el desarrollo rural y la soberanía alimentaria, dirección de evaluación de políticas públicas rurales LX Legislatura*. México D.F.
- CIBIOGEM (2011). *Pruebas de campo (de 1988 al 13 de junio de 2005) y permisos de liberación al ambiente (del 14 de junio de 2005 a 2009), de Organismos Genéticamente Modificados aprobados en México, por cultivo y comparación entre aprobados conforme la Ley Federal de Sanidad Vegetal (LFSV) y la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM)*. Sistema Nacional de información disponible para consulta en línea en <http://www.cibiogem.gob.mx/Sistema-Nacional/Paginas/default.aspx>
- Concheiro, L. (1995). Estructura agraria y mercado de tierras en México. *Mercado de tierras en México*. México: UAM-X y FAO.
- Covantes, L. (1999). Cuando el destino nos alcanzó. *Revista Este País*, Mexico D.F., Julio.
- Díaz, F., (2007). *Comunalidad, energía viva del pensamiento mixe*. México: UNAM.
- DOF (2005). *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados*. 18 de marzo
- Espinosa A. y Turrent A. (2007). *Ponencia en Mesa redonda ¿Qué pasa con el maíz y la tortilla?* Presentada el 27 de enero en CIEESTAM, Universidad Autónoma de Chapingo.
- Espinosa A. et al. (2008). El potencial de las variedades nativas y mejoradas de maíz. *Revista Ciencias No. 92-93*, 160
- Expansión, (2005). Cómo el maíz transgénico de Monsanto cambiará al campo. *Revista Expansión no. 924*, Mexico D.F. 14 de septiembre.

- FAO, (2010). Segundo informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo consultado en <http://www.fao.org/agriculture/seed/sow2/>
- Flannery, V.K, (1989). Los orígenes de la agricultura en México: las teorías y la evidencia. En Rojas, T. et. Al., *Historia de la agricultura, época prehispánica, siglo XVI. Tomo I- Colección Biblioteca del INAH.*, 237-263
- Florescano E. (1994). *Memoria Mexicana*. Editorial Fondo de Cultura Económica, 37.
- Galinat, C., (1995). El origen del maíz: el grano de la humanidad. *Economic Botany* 49. The New York Botanical Garden, 3-12
- Kato, T.A. et al. (2009). *Origen y diversificación del maíz. Una revisión analítica. México: UNAM. CONABIO.*
- López Austin, A. (2003). Cuatro mitos mesoamericanos del maíz. En Esteva, Gustavo. *Sin maíz no hay país*, México: D.F., Consejo Nacional para las Culturas y las Artes, 29.
- Marielle, C. et al. (2007). *La contaminación transgénica del maíz en México: luchas civiles en defensa del maíz y de la soberanía alimentaria*. México D.F.: Grupo de Estudios Ambientales, A.C.
- Martínez, V. (2007). Crean dependencia en semillas. En *Periódico Reforma*, México, D.F. 20 de marzo.
- Massieu Y., y Lechuga J., (2002). El maíz en México: biodiversidad y cambios en el consumo. *Análisis económico No 36 Vol. XVII UAM-Azcapotzalco*.
- Massieu Y., y San Vicente, A. (2006). El proceso de aprobación de la ley de bioseguridad : política a la mexicana e interés nacional. *Revista El Cotidiano No. 136, UAM Azcapotzalco, marzo -abril., 39-51*
- Nadal, A., (2002). *Corn in NAFTA: Eight Years After*. México: El Colegio de México.
- Norandi, M. (2007) .*Transnacionales controlan 90% del mercado de semillas: cnc*. En *Periódico La Jornada*, México D.F. 2 de abril.
- Ortega, R. (2003) .La diversidad del maíz en México. En Esteva Gustavo (coord.) *Sin maíz no hay país*. Consejo Nacional para la cultura y las artes. México.
- Ostrom, E., (2000). *El gobierno de los bienes comunes. La evolución de las instituciones de acción colectiva*. México: Fondo de Cultura Económica y CRIM-UNAM.
- Perea E. (2009) Mercado de semillas, negocio que germina y crece. *Imagen Agropecuaria 23 de marzo*.

- Restrepo Iván, (2009). *Condena en La Haya contra el uso de glifosato*. En periódico La Jornada, 18 de mayo de, p 22.
- Rifkin, J., (1998). *El siglo de la biotecnología: el comerciogenético y el nacimiento de un mundo feliz*. Crítica- Macrombo, España.
- Rudiño, L., (2007). *Maíz híbrido y transgénico, las opciones para México: Monsanto*. México D.F.; Periódico El Financiero, 22 de enero.
- Ruiz, A. (2006). *Respuesta en Europa y America ante los transgénicos (1994-2006)*. Ensayo para obtener el grado de Maestría en antropología física ENAH.
- Sagarpa, (2008). *Aviso por el que se da a conocer el listado de información relativa a las solicitudes presentadas y títulos de obtentor de variedades vegetales expedidos, durante el periodo del mes de enero de 2004 al mes de junio de 2008*. http://www.cofemermir.gob.mx/uploadtests/16821.59.59.1.AVISO_TITULOS_DE_OBTENTOR.doc
- Salamanca Fabrice, (2010). *Transgénicos ¿es sensato darles la espalda?*. En *Revista Este País*. No. 235, noviembre 2010. México, D.F.
- Sánchez, D. Et al., (2004). *Nuevos colonialismos del capital. Propiedad intelectual, biodiversidad y derechos de los pueblos*. Icaria Editorial, Barcelona, España.
- Serratos, A., (2009). *El origen y diversidad del maíz en el continente americano*. Greenpeace México.
- Shanin, T. (1976). *Naturaleza y lógica de la economía campesina*. Cuadernos Anagrama Barcelona, España.
- Shiva, V. (s/f) *Las nuevas guerras de la globalización*. Semillas , agua y formas de vida. Madrid, España: Editorial Popular.
- Shiva, V. (2003). *Cosecha robada. El secuestro del suministro mundial de alimentos*. Editorial Paidós, Buenos Aires, Argentina.
- Solares, B., (2007). *Madre terrible. La Diosa en la religión del México antiguo*. Antrophos Editorial España.
- Soriano, J.J., (2007). *Recursos genéticos, biodiversidad y derecho a la alimentación*. En *Biodiversidad y derecho a la alimentación*. Prosalus, Cáritas. Madrid, España.
- Union of Concerned Scientists (UCS), (2009). "Failure to yield. Biotechnology's broken promises". Issue briefing. <http://www.reduas.fcm.unc.edu.ar/wp-content/uploads/downloads/2011/07/failure-to-yield-brochure-UCS.pdf>



CONCLUSIONES



*Mariana Benítez Keinrad, Alma Piñeyro Nelson y
Elena R. Álvarez-Buylla*

En los capítulos que integran este libro se ha conjuntado una masa crítica de reflexiones en torno a los problemas a los que se enfrentaría nuestro país ante la siembra a campo abierto de maíz transgénico. Este esfuerzo se ha realizado con el ánimo de proveer al lector con un panorama lo más amplio, integral y científico posible, explicitando los múltiples niveles en los cuales la liberación de maíz transgénico afectaría la viabilidad del cultivo de este cereal nativo o criollo en México.

En primera instancia, es clave reconocer que las fronteras políticas entre países son porosas al tránsito de cualquier ser vivo, como ha quedado demostrado por numerosos ejemplos documentados acerca de la dispersión involuntaria de microorganismos, plantas y animales exóticos por todo el mundo. Dichos organismos han evolucionado y muchas veces se han convertido en plagas y malezas difíciles de contener en los lugares que colonizan. Tal situación también puede ocurrir si se dispersan organismos transgénicos, además de que éstos dan pie a riesgos adicionales. Dichos riesgos son mayores, como se argumenta a lo largo de este libro, cuando cultivares transgénicos son introducidos en sus centros de origen y diversidad (capítulos 1, 3 y 4). Por ello es que en prácticamente todo el mundo se ha prohibido la liberación de cultivos transgénicos en sus centros de origen y diversidad. México es centro de origen y diversidad de más de 15% de los cultivos que hoy alimentan al mundo entero, entre ellos, el maíz. Es fundamental

preservar esta diversidad biocultural, resultado de miles de años de coevolución entre las culturas mesoamericanas y el maíz. Esta preservación no puede hacerse en un banco de germoplasma, ya que implica el cuidado y fomento de procesos de reproducción complejos, dinámicos y diversos en lo biológico y en lo sociocultural. Las formas de vida de millones de campesinos y su invaluable conocimiento, así como la soberanía alimentaria de México, están en peligro con la liberación de maíz transgénico en cualquier parte del territorio nacional, lo cual constituye un atentado en contra de derechos fundamentales (capítulos 6, 7, 9, 12, 16 y 17). También implica riesgos inadmisibles para la seguridad alimentaria y agrícola del mundo entero ante futuros retos climáticos, de nuevas plagas o de otra índole.

Con estas consideraciones en mente, los capítulos que conforman este expediente de la UCCS han abordado los impactos de la posible liberación de maíz transgénico en México, integrando información sobre los aspectos científicos, ambientales, agrícolas, económicos, sociales, de salud, alimentación, históricos, éticos y legales que resultan indispensables de considerar para evaluar los impactos de dicha liberación. Algo que se pone de manifiesto en este tomo es que todos estos aspectos son igualmente relevantes y resulta imposible limitar el estudio de esta tecnología únicamente a uno de ellos. Suele decirse que no hay observación sin teoría, en tanto que la observación atiende a preguntas o concepciones que la preceden. De igual manera, quien experimenta decide, dentro de sus posibilidades, qué variables es relevante manipular, registrar o medir. Lo anterior está basado en preguntas, concepciones, hipótesis y teorías previas. Es decir, tampoco hay experimentación sin teoría. Análogamente, el desarrollo de nuevas tecnologías, como la de generación de transgénicos, es inseparable del contexto tecnocientífico, político, social y económico en el que se generó. Esto, a su vez, tiene como consecuencia que sea imposible entender el desarrollo e impacto de nuevas tecnologías sin considerar el contexto —la intención e intereses— de quienes las generan y promueven.

Así, la idea de analizar una tecnología dada desde un punto de vista meramente tecnocientífico —como ha ocurrido en el caso de los organismos transgénicos— puede compararse con describir el protocolo de un experimento —los reactivos que se usaron y en qué concentración, la temperatura y humedad de la habitación, los pasos que se siguieron, etcétera— sin pensar en los objetivos, hipótesis o teorías que motivaron dicho experimento, lo que llevaría a no poder interpretar los resultados

del mismo, ni poder identificar sus fallas, limitaciones y posibles mejoras. En este contexto, es importante resaltar que las líneas comerciales de maíz transgénico se han generado desde una perspectiva mercantilista por compañías que orquestan la especulación con alimentos y cabildean a favor de acuerdos comerciales que generalmente no favorecen al interés público o a la sociedad en general, sino a una élite transnacional y a sus asociados locales.

A partir de los análisis de este libro, queda claro que la siembra y comercialización de maíz transgénico en México están enmarcadas en un programa tecnológico científicamente insuficiente, y por ello arriesgado, que hasta el momento ha estado regido por intereses de ganancia mercantil más que por principios epistémicos (del conocimiento), de beneficio social, agrícola o ambiental. En este sentido, el presente volumen aporta evidencia que demuestra que la tecnología con la que han sido generadas las líneas de maíz transgénico disponibles en el mercado están basadas en paradigmas que ya han sido superados en la biología (ver capítulo 4).

En este documento se describen las características genético-moleculares de las principales líneas de maíz transgénico ofertadas actualmente: líneas resistentes a plagas de insectos lepidópteros (emparentados con las mariposas) o maíces *Bt* que expresan las proteínas de origen bacteriano tipo *Cry*, y líneas tolerantes a herbicidas (principalmente glifosato), llamadas popularmente *Roundup Ready*. Ambas han sido creadas para la agricultura industrializada extensiva de Estados Unidos y han sido exportadas a otros países bajo el paradigma del reduccionismo genético, el cual asume que la acción de un gen en un organismo vivo es predecible bajo cualquier circunstancia y que su efecto en el organismo puede entenderse de manera independiente de sus interacciones con otros genes (su contexto genómico) y de las del organismo con el ambiente. Es decir, la tecnología en cuestión asume que los transgenes (entendidos como la unidad organizativa que incluye la secuencia codificante para proteínas y sus secuencias regulatorias como el promotor y terminador) insertados en un organismo dado actuarán de manera independiente y lineal en la generación de cierta característica novedosa.

En contraste, la biología molecular, la ecología, la biología evolutiva y del desarrollo muestran que si bien un gen puede ser necesario para el desarrollo de cierta característica del organismo, ésta surge de la interacción de numerosos genes, proteínas, hormonas, factores ambientales y otros elementos genéticos y no genéticos, de manera que la causa de

una característica no puede rastrearse únicamente en la secuencia de un gen. Por otro lado, es importante tener en cuenta que las plantas transgénicas están sujetas a procesos de selección natural y artificial que pueden aumentar o disminuir su frecuencia en una población dada. Estos enfoques contemporáneos muestran, además, que organismos como los maíces transgénicos establecen relaciones complejas y bidireccionales con otros seres vivos y con el ambiente en que se encuentran, relaciones que son difícilmente identificables y predecibles. Por lo tanto, los enfoques tradicionales de análisis de riesgo y bioseguridad establecidos por las agencias que regulan los transgénicos (capítulos 4, 5, 8 y 13) no son válidos bajo tales condiciones.

En varios capítulos de este libro se ilustra la importancia de la diversidad de maíces nativos y sus parientes silvestres (capítulos 1 y 11). A lo largo del territorio nacional se distribuye más de 60% de las variedades de maíz conocidas a escala mundial, así como sus parientes silvestres. Esta diversidad biológica incluye razas y variedades raras muy valiosas propias del norte del país. A esta realidad, se suma la evidencia de movilidad de genes (y transgenes) a miles de kilómetros de distancia por medio del polen y las semillas en el maíz (capítulo 3). Por ello, la evidencia científica ha demostrado sin lugar a dudas que es necesario considerar la totalidad del territorio mexicano como el principal centro de origen y diversidad genética del maíz en el mundo. Todo un contexto agroecológico que coloca a México en una situación peculiar en torno a los posibles efectos y consecuencias de la liberación de maíz transgénico. La evidencia es contundente: no es posible la coexistencia de maíces transgénicos y nativos sin contaminación de estos últimos.

En este sentido, a pesar de que ya se han documentado transgenes en maíces nativos, aún estamos a tiempo de revertir la presencia de transgenes, por ahora limitada a ciertas poblaciones de maíz mexicano. Se concluye que es urgente implementar medidas para impedir que siga entrando maíz transgénico biológicamente viable como grano para procesos industriales desde los países que siembran transgénicos (principalmente Estados Unidos, pero en 2012 se comenzó a importar maíz blanco transgénico desde Sudáfrica). El flujo génico masivo que ocurriría de aprobarse la siembra de maíz transgénico comercial tendría consecuencias impredecibles e irreversibles en la diversidad genética de los maíces mexicanos y sus parientes silvestres, y cancelaría la reproducción del sistema comunal de manejo de los acervos de semillas del maíz mexicano, el cual es parte nodal del mantenimiento dinámico de

la diversidad y constante adaptación a nuevas condiciones y usos de los maíces nativos (capítulos 1 y 3).

Ignorando la evidencia disponible el gobierno ha aprobado, desde 2009 hasta la mitad de 2012, 155 permisos para la siembra de parcelas de maíz transgénico en modalidad experimental. Aun cuando dichas siembras “experimentales” no han arrojado resultados claros desde el punto de vista científico, agronómico o de bioseguridad, ya se han aprobado cuatro siembras en modalidad piloto, que sumarán poco más de 1 000 hectáreas en los estados de Tamaulipas, Sinaloa y Sonora, mientras que recientemente se han presentado nuevas solicitudes de liberación a escala piloto a la autoridad competente. Tales extensiones sugieren que la estrategia gubernamental para habilitar en los hechos la siembra de maíz transgénico seguirá la estrategia puesta en marcha con el algodón transgénico del cual ya tenemos 374 920 hectáreas en el norte del país en modalidad «experimental» y «piloto» (datos para 2011: Quinto Informe de Labores de SENASICA, p. 47), las cuales ya tienen *de facto* una salida y un uso comercial. Todo esto se ha facilitado por una ley de bioseguridad laxa y ambigua, un reglamento modificado a modo de manera transitoria, y por la carencia de una reglamentación de bioseguridad adecuada (capítulo 1 e Introducción). Además, es importante retomar uno los temas recurrentes en los capítulos de este libro, a saber, que dichas siembras no tienen sustento científico ni legitimidad socioambiental, sino que están motivadas principalmente por razones mercantiles de empresas productoras de transgénicos en acuerdo con algunos grandes productores y sectores del gobierno.

De hecho, en este tomo se hace un recuento de las políticas públicas de bioseguridad de nuestro país (capítulos 8-10, 15 y 16), dejando claro que más que un compromiso con el interés público en esta materia o con el verdadero desarrollo agrícola, la normatividad y legislación se han ido armando, modificando y, en ocasiones, hasta violándolas para favorecer los intereses de las compañías que venden los transgénicos. En los hechos, se están infringiendo las normas nacionales e internacionales de protección a la biodiversidad, así como los derechos de autodeterminación de los pueblos indígenas y el derecho a una producción de alimentos libre de transgénicos. También se está violentando la soberanía nacional.

Los argumentos integrados en este expediente en torno a los riesgos que implica la liberación de maíz transgénico en México tendrían que ser suficientes para impedir dicha liberación aun si fueran muy exito-

sos en términos tecnológicos. Pero a más de veinte años de su cultivo en Estados Unidos bajo condiciones óptimas, se han producido datos irrefutables que demuestran que han fallado en cumplir las promesas de las empresas que los comercializan: no aumentan rendimientos, no han disminuido el hambre en el mundo, no han reducido el uso de agrotóxicos o de fertilizantes que son causa de emisiones de gases con potente efecto invernadero, no son sustentables y están dando pie a la aparición de plagas resistentes y supermalezas difíciles de controlar (ver reporte reciente en: http://www.ucsusa.org/food_and_agriculture/science_and_impacts/impacts_genetic_engineering/monsanto-fails-at-improving.html).

En cuanto a los impactos en la salud, en los capítulos 2, 4 y 5 se da cuenta de varios de ellos derivados del consumo directo de alimentos transgénicos o del consumo indirecto de los agrotóxicos de los cuales dependen. Por ejemplo, la acumulación de glifosato (el componente activo del herbicida usado con la mayoría de las líneas transgénicas resistentes a herbicidas de maíz, algodón, soya y otros cultivos) es tóxico para los seres humanos. Además, ahora sabemos que este agrotóxico se acumula en el agua y el suelo más de lo previsto. Todo ello, en contra de lo vaticinado por las empresas que lo venden como parte del paquete tecnológico de los transgénicos tolerantes al herbicida, promovidos como una alternativa agronómica “limpia”. Conforme se investiga más, se producen más evidencias sobre los riesgos a la salud humana que puede implicar el consumir alimentos derivados de una agricultura industrializada y, en particular, de transgénicos.

Como salida a la problemática agrícola que efectivamente existe en nuestro país, en este libro también se abordaron alternativas mucho más acordes con un desarrollo agrícola sustentable e integral y se da cuenta de algunas experiencias exitosas en esta materia (capítulo 11). Asimismo, se plantea la necesidad de fomentar una agrociencia integrativa que combine el profundo conocimiento tradicional con una ciencia rigurosa, basada en el entendimiento de las complejas interacciones de los genes, moléculas y factores ambientales que afectan a los organismos, realmente comprometida con el interés público y la sustentabilidad. Los organismos internacionales están recomendando una agricultura más diversificada y agroecológica (ver reporte internacional en <http://www.agassessment.org/> y capítulo 11), parecida a la milpa, más que seguir sumando insumos industriales a la agricultura extensiva que tiene numerosas consecuencias negativas. Entre ellas, la emisión de gases de

efecto invernadero, la presencia en alimentos de residuos nocivos para la salud, la comercialización de productos con bajo contenido nutritivo, de fibra y antioxidantes que son abundantes en los maíces nativos (la alimentación carente de éstos favorece la prevalencia de enfermedades metabólicas como la diabetes). En este sentido, en uno de los apartados de este tomo se revisa la evidencia que demuestra el valor insustituible del maíz (ver capítulo 7) y otros cultivos de la milpa en la dieta de los mexicanos.

En conclusión, dados los argumentos integrados en este volumen, la liberación de transgénicos al ambiente implica riesgos sociales y ambientales, así como peligros, impredecibles e incuantificables, por lo que es éticamente inaceptable (capítulo 10). En cuanto al maíz, la recomendación es clara: prohibir la liberación de líneas transgénicas en su centro de origen y diversidad: México.

Corolario: conflictos de interés

Retomando la idea desarrollada en la introducción de este libro, en torno a que el desarrollo de tecnologías es inseparable del contexto científico, social y económico en que se generan, cualquier persona, institución o corporación que desarrolle cierta tecnología, lo hace con alguna intención e interés. Ante ello cabe preguntar en qué medida es válido hablar de un conflicto de intereses entre quienes defienden una u otra postura sobre la liberación de maíz transgénico en México. Un conflicto de intereses se genera cuando un individuo o empresa se halla en una posición en la que es posible explotar alguna capacidad profesional u oficial para beneficio personal o de una empresa, por ejemplo cuando un trabajador del Estado forma parte o se beneficia de una empresa privada que provee de servicios al mismo sector gubernamental. También ha sido definido como la contraposición de intereses particulares con el interés general. El conflicto de intereses existe desde que se da esta situación, independientemente de que se efectúe o no una acción sesgada.

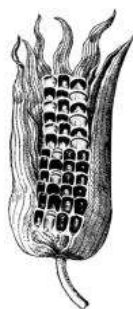
En este sentido, es posible identificar actores específicos que han incidido en el desarrollo de la problemática que se revisa en este tomo. Dichos actores laboran en las instituciones gubernamentales encargadas de normar la presencia de transgénicos en México y simultáneamente sostienen relaciones laborales, comerciales o de otra índole con las em-

presas que comercializan esta tecnología. De igual manera, los científicos que antepusieran intereses privados (por ejemplo, por las expectativas de ganancias personales por la venta o licenciamiento de patentes a su nombre) a los de la sociedad en general, cuando sus investigaciones han sido financiadas por el erario público y a la vez por empresas privadas, se encontrarían en una situación de conflicto de intereses. Por ello es fundamental, para concluir este documento, declarar de manera explícita que ninguno de los científicos que participamos en su elaboración tenemos conflictos de interés en torno al desarrollo, distribución o venta de plantas transgénicas en general y, en particular, de variedades de maíz transgénico. Tampoco tenemos injerencia ni beneficios económicos en empresas que pudieran ser consideradas “competencia” comercial al uso de transgénicos, como es empresas de semillas tradicionales u empresas agroecológicas o de fomento a la agricultura orgánica.

Finalmente, este expediente revela que la regulación en torno a la liberación de maíz transgénico en México debe ser establecida con la colaboración, por un lado, de científicos, abogados, sociólogos, economistas, etcétera y, por el otro, de ciudadanos en general que estén libres de conflicto de interés en sus decisiones o, al menos, que los hagan explícitos. De manera más general, es necesario que la tecnología que se utilice en México se desarrolle en pro del interés colectivo, que éste sea su motivación, y que tenga como objetivo el fortalecimiento de la soberanía nacional (alimentaria, energética y tecnológica, entre otras) y esté basado en ciencia de frontera que permita valorar los riesgos a corto y largo plazo que dicha tecnología pueda conllevar, aplicando el principio precautorio. Además, debe de aprovecharse y considerarse el diverso y profundo conocimiento tradicional en materia agrícola y la alta diversidad de nuestro país. México es megadiverso biológica y culturalmente; al primar el interés privado sobre el colectivo, su patrimonio biocultural intangible es desdeñado y se pone en peligro por la liberación de transgénicos.

Reiteramos: la única política de bioseguridad acorde con los datos rigurosos disponibles y el contexto mexicano implicaría la prohibición de la siembra a campo abierto de cultivares de maíz transgénico en **todo** el territorio nacional. A su vez, con base en la información integrada en este volumen, es evidente que la riqueza de nuestro país podría aprovecharse de manera sustentable al combinar el inmenso y profundo conocimiento tradicional, que dio lugar a sistemas agroecológicos paradigmáticos como la milpa, con la agrobiodiversidad como bien

común y un conocimiento científico profundo, realmente comprometido con el bien común y la sustentabilidad. Las políticas de gobierno deben favorecer este tipo de desarrollo agrotecnológico soberano, más que abrir la puerta a los transgénicos producidos y comercializados por grandes corporaciones, a la consecuente dependencia tecnológica hacia tales corporaciones que, por otro lado, sí están aprovechando los recursos genéticos diversos para sus propios fines.



EPÍLOGO

NUEVAS DIMENSIONES BIOLÓGICAS DEL RIESGO IMPLICADO EN LA LIBERACIÓN DE ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS



Ignacio Chapela Mendoza

En los dos últimos años se han documentado científicamente al menos cuatro características de los transgénicos que implican nuevas dimensiones de riesgo en el uso y, sobre todo, en la liberación al ambiente de organismos genéticamente modificados mediante las técnicas moleculares de ADN recombinante. Estos riesgos son particularmente preocupantes para casos como el de México, que es centro de origen y diversificación de uno de los cereales más importantes del mundo: el maíz.

Primero, un equipo importante de investigación en China ha demostrado que el material genético que ha sido producto de técnicas de ADN recombinante en los cultivos genéticamente modificados para fines agrícolas, no sólo sobrevive la digestión humana, sino que puede pasar a la circulación y alterar de maneras distintas la función fisiológica de muchos órganos (Zhang, Lin *et al.*, 2012). Poco después, se dio a conocer el estudio de un equipo científico francés sobre los posibles efectos teratogénicos y toxicológicos del consumo de transgénicos, mismo que no ha podido ser refutado experimentalmente, aunque ha causado mucha polémica (Séralini, G. E. *et al.*, 2012 a y b). Dicho estudio acompaña los reportados en este expediente a cargo del equipo del Dr. Carrasco sobre los efectos teratogénicos del glifosato (ver capítulo 5 de este expediente). Por otro lado, un estudio de campo en los ríos más importantes de China

también demostró que las construcciones transgénicas no permanecen enclaustradas en los organismos en los que se introdujeron originalmente, sino que ya han escapado y se han establecido en el genoma de las bacterias silvestres, y en algunos casos están haciendo a las bacterias portadoras de tales secuencias recombinantes resistentes a antibióticos (Chen, Jian *et al.*, 2012). Finalmente, el promotor viral más utilizado en los cultivos transgénicos, el CAMV 35s, contiene una secuencia de propiedades inusitadas, el “GenVI,” que causa una serie de disturbios en varios niveles de la función celular donde se encuentra, en particular tornando las células que lo alojan más susceptibles al ataque por otros virus (Podevin y du Jardin, 2012).

Las consecuencias de cada una de las situaciones brevemente discutidas aquí no se tomaron en cuenta cuando se autorizaron las liberaciones de transgénicos a nivel experimental y comercial. Sin embargo, este tipo de riesgos fueron sobre los que discutieron y alertaron los científicos reunidos en Asilomar en 1975 (http://en.wikipedia.org/wiki/Asilomar_Conference_on_Recombinant_DNA). Es preocupante que no se tomen en cuenta en los esquemas regulatorios pues estos nuevos estudios requieren, *prima facie*, una reevaluación de los transgénicos en general, y añaden dimensiones importantísimas a los riesgos y peligros en salud, ambiente y condiciones socioeconómicas de los agricultores, discutidos ampliamente en este expediente sobre la liberación del maíz transgénico en el campo de México. Este tipo de posibles impactos en la ecología y evolución biológica con consecuencias que ni siquiera podemos enumerar ameritan investigaciones interdisciplinarias profundas y un nuevo expediente en el cual nos pondremos a trabajar desde la UCCS en coordinación con otras redes de científicos de todo el mundo.

Referencias

- Chen, Jian, Min Jin, Zhi-Gang Qiu, Cong Guo, Zhao-Li Chen, Zhi-Qiang Shen, Xin-Wei Wang, and Jun-Wen Li. 2012. “A Survey of Drug Resistance bla Genes Originating from Synthetic Plasmid Vectors in Six Chinese Rivers”, en *Environ. Sci. Technol.*, núm. 46, pp. 13448-13454 ([dx.doi.org/10.1021/es302760s](https://doi.org/10.1021/es302760s)).
- Podevin y du Jardin. 2012. *GM Crops and Food* 3: 1-5. «Comments and summary» en *Regulators Discover a Hidden Viral Gene In Commercial*

-
- GMO Crops*, Jonathan Latham and Allison Wilson (eds.). 2013 (Independent Science News):
URL: <http://independentsciencenews.org/commentaries/regulators-discover-a-hidden-viral-gene-in-commercial-gmo-crops/>.
- Séralini, G. E., E. Clair, R. Mesnage, S. Gress, N. Defarge, M. Malatesta, D. Hennequin y J. S. de Vendomois. 2012 a. “Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize”, en *Food Chem. Toxicol.*, núm. 50, pp. 4221-4231.
- Séralini, G. E., Robin Mesnage, Nicolas Defarge, Steeve Gress, Didier Hennequin, Emilie Clair, Manuela Malatesta, Joe'l Spiroux de Vendomois. 2012 b. “Answers to critics: Why there is a long term toxicity due to a Roundup-tolerant genetically modified maize and to a Roundup herbicide”, en *Food Chem. Toxicol.*, núm. 50, pp. 4221-4231.
- Zhang, Lin, Dongxia Hou, Xi Chen, Donghai Li, Lingyun Zhu, Yujing Zhang, Jing Li, Zhen Bian, Xiangying Liang, Xing Cai, Yuan Yin, Cheng Wang, Tianfu Zhang, Dihan Zhu, Dianmu Zhang, Jie Xu, Qun Chen, Yi Ba, Jing Liu, Qiang Wang, Jianqun Chen, Jin Wang, Meng Wang, Qipeng Zhang, Junfeng Zhang, Ke Zen, Chen-Yu Zhang. 2012. “Exogenous plant MIR168a specifically targets mammalian LDLRAP1: evidence of cross-kingdom regulation by microRNA”, en *Cell Research*, núm. 22, pp. 107-126.

COLABORADORES: ADSCRIPCIÓN Y SEMBLANZAS
(POR ORDEN ALFABÉTICO DE PRIMER APELLIDO)



Valeria Alavez

UNAM

valeria.alavez@gmail.com

Es bióloga egresada de la Facultad de Ciencias de la UNAM. Actualmente colabora con CONABIO, INIFAP y UNAM en diversos proyectos relacionados con el origen y evolución de plantas cultivadas mesoamericanas y su proceso de domesticación, particularmente sobre tomate verde, aguacate y algodón.

Elena R. Álvarez-Buylla

Instituto de Ecología, UNAM

eabuylla@gmail.com

Bióloga y Maestra por la UNAM, Doctora en Ciencias (Genética y Botánica) por la Universidad de California, Berkeley, Estados Unidos, y formación posdoctoral en la misma Universidad (La Joya). Ha sido “Fellow” de la Fundación PEW, del Instituto Santa Fé (EU) e investigadora invitada del “University College” en Londres, Inglaterra. Su trabajo ha sido reconocido con importantes premios como el de la “American Naturalist Society” la “Freund Foundation Visiting Ecologist Program for outstanding scholars” del “Intl. Center for Tropical Ecology”. En México le han sido otorgados, entre otros, el Premio “Universidad Nacional-Jóvenes Académicos (UNAM)”, el Premio de la Academia Mexicana de Ciencias en Ciencias Biológicas (1999), Reconocimiento “Sor Juana Inés de la Cruz” UNAM (2005); es miembro del “Faculty of 1000, Premio de la Sociedad Americana de Botánica, Premio Ciudad Capital, “Heberto Castillo Martínez” del ICyT del D.F., Premio Universidad Nacional 2010 y recientemente obtuvo la Beca Miller del Instituto Miller para la Investigación Básica en Ciencia, Universidad de California, Berkeley, USA.

Actualmente es Investigador Titular del Instituto de Ecología, UNAM y dirige el Laboratorio de Genética Molecular, Desarrollo y Evolución de Plantas, donde realiza investigación sobre biología molecular y modelos computacionales. Es miembro de la delegación Mexicana de Pugwash, miembro del Laboratorio del Procomún México y miembro fundador de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad, A.C.,

Pablo Andrés Meza

andres.pablo@colpos.mx

Estudiante de Doctorado en el Postgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Genética. Colegio de Postgraduados.

Es Ingeniero Agrónomo Fitomejorador, egresado en 2007 de la Facultad de Fitotecnia del Instituto Tecnológico de Comitancillo, Oax., cuyo título de trabajo *“Validación de nuevos genotipos sobresalientes de maíz (Zea mays L.) con alta calidad de proteína en seis ambientes del estado de Veracruz”*. Estudio la Maestría en Ciencias en Agroecosistemas Tropicales de 2008 a 2010, en el Colegio de Postgraduados, Campus Veracruz, cuyo título *“Análisis dialéctico para rendimiento en líneas de maíz con alta calidad de proteína”*. De Enero de 2011 a la fecha, se encuentra cursando los estudios Doctorales, desarrollando el tema de investigación *“Evaluación agronómica, isoenzimática y nutricional de nuevas variedades sintéticas de maíz con alta calidad de proteína en los estados de Guerrero, Veracruz y Chiapas, México”*. De 2006 a la fecha ha colaborado como auxiliar en el Programa de Maíz del Campo Experimental Cotaxtla (CECoT), perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), apoyando en los trabajos de investigación en mejoramiento genético y actividades de apoyo a la transferencia de tecnología en maíz, principalmente en el proyecto global *“Mejoramiento de la calidad nutritiva e industrial del maíz”*. Durante el 2007, obtuvo Mención honorífica por el trabajo de investigación *“Validación de nuevos genotipos sobresalientes de maíz Zea mays L. con alta calidad de proteína en seis ambientes del estado de Veracruz”*, en 2009, ganó el premio *“Fideicomiso de los Fondos para Investigación Científica y Desarrollo Tecnológico”* otorgado por el Colegio de Postgraduados. De Junio a Septiembre de 2012, obtuvo una beca de la *National Science Foundation* para realizar una estancia en la *University of California Davis*, con el proyecto *Functional genomics in maize centromeres*.

Marta Astier Calderón

Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental. CIGA, UNAM
Campus Morelia
mastier@ciga.unam.mx

Ingeniera agrónoma egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana de México, Xochimilco. Maestría en Ciencia de Suelos de la “University of California” en Berkeley, USA. Doctora en el área de especialidad en Ecología de la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México. Investigadora titular del Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental-UNAM, Campus Morelia. Profesora de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNAM y en el Programa de Maestría de Manejo de Paisaje además de impartir cursos en universidades del extranjero. Perteneció al Sistema Nacional de Investigadores. Autora de más de 30 publicaciones internacionales y arbitradas, y 4 libros referentes a la agricultura ecológica, la evaluación de la sustentabilidad de los sistemas productivos agrícolas y sobre el manejo y la conservación de la agro-diversidad y la agricultura en comunidades y regiones campesinas.

Carlos H. Ávila Bello

Universidad Veracruzana
carlavila@uv.mx

Ingeniero Agrónomo por la Universidad Autónoma Metropolitana Xochimilco. Maestría en Botánica por el Colegio de Postgraduados y doctorado en Agroecología en la misma institución. Actualmente es profesor-investigador de la Universidad Veracruzana. Realiza investigación en ecología forestal (en el Pico de Orizaba por espacio de 17 años y otras áreas naturales protegidas), agroecología y etnobotánica. Ha publicado artículos en diferentes revistas nacionales y extranjeras; así como cinco capítulos de libros. Colaboró con la sección de Lunes en la Ciencia de La Jornada durante ocho años. Es miembro de la Sociedad Botánica de México, la Society for Economic Botany, la Society of Ethnobiology, de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad y de la Academia Mexicana de Ciencias Forestales.

Narciso Barrera-Bassols

barrera@alumni.itc.nl

Investigador Nacional SNI II. Doctor en Ciencias por la Universidad de Ghent, Bélgica y el Instituto Internacional de Investigaciones en Geo-

informática y Observación de la Tierra de Holanda (ITC). Maestro en Antropología Social por el CIESAS-Golfo. Geógrafo por la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM. Profesor investigador de tiempo completo en la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Tlaxcala, de la Licenciatura en Ciencias Ambientales de la UNAM y de los Posgrados en Geografía y Ciencias Biológicas de la UNAM. Profesor invitado del Master en Agroecología de la Universidad Internacional de Andalucía y la Universidad de Córdoba, España. Es miembro del Comité Académico de la Red Temática *Etnoecología y Patrimonio Biocultural* del CONACYT. Ha publicado una centena de trabajos sobre etnoedafología, etnogeografía, etnoecología, diversidad agroecológica indígena, paisajes agrarios, enseñanza de la geografía e historia ambiental.

Mariana Benítez Keinrad

Laboratorio Nacional de Ciencias de la Sostenibilidad, Instituto de Ecología, UNAM.

Centro de Ciencias de la Complejidad, UNAM.

mbenitez@ecologia.unam.mx

Es investigadora titular en el Instituto de Ecología de la UNAM, en donde estudia el desarrollo y evolución de las plantas, así como la dinámica de comunidades ecológicas, incluyendo comunidades agroecológicas. Desarrolla su investigación principalmente mediante la elaboración de modelos matemáticos y haciendo uso de las técnicas y herramientas conceptuales de las ciencias de la complejidad. Ha publicado dos libros, varios capítulos de libros y cerca de veinte artículos especializados. Es tutora y docente en dos programas de posgrado de la UNAM.

Eckart Boege

Centro Regional INAH-Veracruz.

eckart.boege@gmail.com

Es actualmente profesor-investigador emérito del Instituto Nacional de Antropología e Historia y miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1988. Es doctor en Etnología por la Universidad de Zürich, Suiza. Primera generación del Programa de Estudios Avanzados en Desarrollo Sustentable y Medio Ambiente (LEAD-México), El Colegio de México.

Ha trabajado varios años en investigación con organizaciones y comunidades campesinas así como con varios pueblos indígenas en la

construcción de proyectos regionales que apuntan hacia la sustentabilidad social, ecológica, cultural y económica. Algunos de sus trabajos actuales de investigación se centran en el patrimonio biocultural y políticas públicas, protocolos bioculturales, los centros de origen y diversificación de la agricultura y la conservación *in situ* de la diversidad biológica y agrodiversidad en comunidades indígenas y en el reconocimiento de los territorios de los pueblos indígenas. Con el libro *El patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México, Hacia la conservación insitu de la biodiversidad y agrodiversidad en los territorios indígenas*. INAH, CDI SEMARNAT 2008 obtuvo el premio nacional de la mejor investigación en Antropología Social "Fray Bernardino de Sahagún" que otorga anualmente el INAH.

Ha sido miembro fundador de la División de Estudios Superiores de la ENAH, del Departamento de Ecología Humana del CINVESTAV Unidad Mérida, y de la Maestría en Antropología Social del CIESAS- Golfo.

Actualmente, es coordinador general de la investigación del proyecto "Etnografía del patrimonio biocultural de los pueblos indígenas de México" en la cual participan 69 investigadores de 13 Centros INAH, bajo los auspicios de la Coordinación de Antropología, INAH. Además es miembro fundador de la Red de Etnoecología y Patrimonio Biocultural (CONACYT) y es responsable de la línea Regiones Bioculturales de México.

Héctor Bourges Rodríguez

Director de Nutrición del Instituto Nacional de Ciencias Médicas y nutrición Salvador Zubirán

hector.bourgesr@quetzal.innsz.mx

Es médico cirujano (UNAM) y doctor en nutriología (Instituto Tecnológico de Massachusetts). Investigador en el Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición Salvador Zubirán desde 1968; desde 1997 Director de Nutrición en dicho Instituto. Imparte clases de pre y posgrado desde 1970 en la UNAM y la UIA y antes en el IPN y la UAM Iztapalapa. Ha publicado más de 230 artículos de investigación y divulgación, varios libros y 50 capítulos. Ha presidido varias asociaciones profesionales y es socio emérito de algunas de ellas. Director de la revista Cuadernos de Nutrición desde 1981. Ha obtenido varios premios entre ellos los nacionales de tecnología de alimentos y de divulgación de la ciencia y medallas al mérito universitario; es Investigador Nacional nivel 3.

Areli Carreón García

areli.carreon@gmail.com

Es ambientalista, actual presidenta del consejo directivo de Bicitekas A.C. Maestra en desarrollo rural por la UAM-X, ha colaborado con organizaciones como Greenpeace, Semillas de Vida, AC y la Campaña Sin maíz no hay país. Es coautora de diversas publicaciones entre las que destacan “Haciendo milpa” del Instituto de Ecología, UNAM y el “Manual del ciclista urbano de la Ciudad de México”, recientemente publicado por el Gobierno del Distrito Federal.

César Carrillo Trueba

cesart@ciencias.unam.mx

Biólogo egresado de la Facultad de Ciencias de la UNAM, y Maestro en Antropología Social y Etnografía por la École de Hautes Études en Sciences Sociales, París, en donde actualmente prepara el doctorado en Antropología Social. Es editor de la revista *Ciencias* de la Facultad de Ciencias de la UNAM, y autor de los libros *El Pedregal de San Ángel* (UNAM, 1995), *Nacho López. Los rumbos del tiempo* (INI/CNCA/Gobierno del Estado de Hidalgo, 1997), *La diversidad biológica de México* (CONACULTA, 2004), *Pluriverso, un ensayo sobre el conocimiento indígena contemporáneo* (UNAM, 2006 y Abya Yala, Quito, 2008) y *El racismo en México* (CONACULTA, 2009) y de numerosos artículos de divulgación científica publicados en revistas nacionales e internacionales. Asimismo, ha sido curador de varias exposiciones -entre ellas *Imaginario Mexicanos*, exhibida en el Museo de la Civilización de Quebec y *Estridencias de la selva*, montada en el Museo de Historia Natural de la Ciudad de México, en donde fungió como Subdirector de Investigación y colecciones. Fue asesor en difusión en la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Ignacio H. Chapela

Universidad de California, Berkeley y
GenØk, Centro para la Bioseguridad, Noruega
mailto:valeria.alavez@gmail.com

Biólogo de la UNAM, PhD en Ecología Microbiana por la Universidad del País de Gales. Fundador del Recurso Micológico, un nodo de colaboración centrado en el uso y manejo de los paisajes indígenas. Colaborador y miembro de múltiples organizaciones locales, regionales, nacionales y multilaterales dedicadas al conocimiento y manejo de recursos biológicos. Profesor de biología.

Ana De Ita Rubio

anadeita@ceccam.org.mx

Maestría y estudios de Doctorado, en Sociología por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM. Desde 1992 es Investigadora Titular y Directora Ejecutiva del Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano (Ceccam), una organización no gubernamental de investigación en la que ha coordinado un gran número de proyectos sobre los efectos de las políticas agrícolas, agrarias, ambientales y comerciales en la economía campesina y la soberanía alimentaria. Los procesos de integración regional y los movimientos campesinos; los cultivos transgénicos; los territorios indígenas y campesinos. Es asesora de organizaciones campesinas e indígenas y ha fungido como apoyo técnico para Vía Campesina. Integrante de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad y de la Red En defensa del maíz. Ha escrito varios artículos de investigación y de divulgación.

Beatriz De la Tejera H.

Posgrado en Desarrollo Rural Regional, Universidad Autónoma Chapingo

btejera1999@yahoo.com

Ingeniera Agrónoma especialidad en Desarrollo Rural (UAA "Antonio Narro"), Maestría en Sociología Rural (UACH), Doctorado en Economía (Colegio de Postgraduados), Posdoctorado en Economía Institucional y Ecológica (Universidad Nacional Autónoma de México-Universidad de Córdoba, España). Investigadora Nacional, Sistema Nacional de Investigadores, desde 1998, Nivel II.

Línea de Investigación general: Procesos de transformación rural-urbanos y estrategias contra-hegemónicas de grupos sociales.

Líneas de Investigación específicas: Manejo social de Recursos Naturales; Economía y Estrategias Campesinas e Instituciones Comunitarias; Soberanía Alimentaria, Mercados Agrícolas; Organización Social. Profesora-Investigadora de tiempo completo en la Universidad Autónoma Chapingo desde 1983. Ha publicado como autora, coautora y/o coordinadora, 9 libros, 1 revista internacional, 25 artículos arbitrados, 31 capítulos de libro y 31 ponencias en extenso. De ellos cinco publicaciones sobre el tema de producción, comercialización y políticas públicas sobre el maíz en México y otras relacionadas directamente con la agricultura y estrategias campesinas desarrolladas en torno al maíz en nuestro país.

Lucio Díaz

trogلولu@yahoo.com.mx

Etnólogo egresado de la Escuela Nacional de Antropología e Historia; colaborador del Grupo de Estudios Ambientales (GEA AC) desde 2005 en la implementación del Programa Integral Regional de Manejo Campesino de Recursos Naturales y Sistemas Alimentarios Sustentables. Profesor-investigador de la Universidad de los Pueblos del Sur. Autor, coautor y/o co-coordinador de artículos, libros, videos y ponencias sobre regulación comunitaria de recursos naturales, autonomía, sustentabilidad y organización comunitaria del territorio.

Alejandra Celeste Dolores Fuentes

alexcelestic@ciencias.unam.mx

Recién egresada de la carrera de Biología por la Facultad de Ciencias, UNAM. Realizó su tesis de grado en el Laboratorio de Genética Molecular, Desarrollo y Evolución de Plantas del Instituto de Ecología, UNAM liderado por la Dra. Elena Álvarez-Buylla donde también ha sido ayudante de investigador. Colaboradora del Programa de Agricultura y Alimentación de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS). Sus líneas de interés: soberanía alimentaria, biodiversidad, conservación *in situ* de recursos genéticos agrícolas, bioseguridad y biomonitoreo de OGMs en centros de origen-diversidad y filosofía de la ciencia.

George A. Dyer

Abt Associates, Inc., y El Colegio de México.

georgie.dyer@gmail.com

Es maestro en economía por El Colegio de México y doctor en Economía agrícola y de los recursos naturales por la Universidad de California. Su investigación durante la última década se ha enfocado, entre otros temas, en entender los procesos a distintos niveles que determinan el cultivo del maíz y la conservación de los recursos genéticos asociados.

Alejandro Espinosa Calderón

Investigador Titular del Programa de Semillas, INIFAP, Texcoco, Estado de México

espinoale@yahoo.com.mx

Ingeniero Agrónomo Fitomejorador por la Facultad de Agrobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestro y Doctor en Ciencias en Genética, Colegio de Posgraduados. Desde

1979 trabaja en investigación científica y tecnológica en agronomía, mejoramiento genético y producción de semillas de maíz en el INIA e INIFAP. Desde 1982 a la fecha es profesor, tiempo parcial en Ingeniería Agrícola en “Producción Agrícola” y “Tecnología y producción de semillas”, FESC-UNAM, Cuautitlán Izcalli, México. Ha dirigido más de 95 tesis. Participó en la generación y desarrollo de 53 híbridos y variedades de maíz en el INIFAP y 15 híbridos y variedades en la UNAM. Dos de sus maíces son los más usados comercialmente en los Valles Altos de México (H-50 y H-48). Generó el híbrido H-51 AE, producto de 20 años de trabajo, iniciado en 1992, el cual es el primer híbrido en la historia de la investigación pública en México, con esquema de esterilidad masculina, para producción de semilla. Desarrollo las variedades V-54 A y V-55 A, de grano amarillo, para siembras de temporal retrasado en Valles Altos (2200 a 2600 msnm), para agricultura de subsistencia y tradicional. Es miembro ininterrumpido del SNI, desde 1986 y desde 2003 es Investigador Nacional Nivel III. Es miembro de la Academia Mexicana de Ciencias a partir de 2010, es Premio Estado de México 2009, en Ciencias Agropecuarias y Biotecnología. Obtuvo el Segundo Lugar en la Mesa de Maíz, PCCMCA en Panamá. Miembro del Consejo Consultivo Científico (CCC-CIBIOGEM), 2007-2009 y Coordinador (2007). Miembro de Comisión Dictaminadora Área VI del S N I. Miembro de Comité de Evaluación de Ciencia Básica y Posgrados de calidad PNPC, Comité Evaluador de Revistas de Excelencia CONACYT (2005-2011). Miembro de Comisión Dictaminadora Ciencias Agrícolas FESC-UNAM (2005-2009).

Dulce María Espinosa de la Mora

Posgrado Instituto de Investigaciones Antropológicas, UNAM
dulce.m.espinosa@gmail.com

Etnóloga por la Escuela Nacional de Antropología y estudios de maestría en Antropología en el Instituto de Investigaciones Antropológicas de la UNAM. Trabajó como investigadora del INAH dentro del proyecto Etnografía de los Pueblos Indígenas de México y como coordinadora de trabajo de campo en diversos proyectos en el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Actualmente realiza investigaciones independientes para la dicha universidad y otras instituciones. Autora y coautora de artículos de investigación y divulgación. Es colaboradora en diferentes medios de comunicación impresos. Sus líneas de investigaciones se centran en el acceso y manejo de recursos naturales, entender conflictos en

espacios rurales, sustentabilidad socioambiental, etnicidad, conflictos agrarios, vulnerabilidad y riesgo alimentario.

Noel Orlando Gómez Montiel

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP-Guerrero)

gomez.noel@inifap.gob.mx, noelorando19@hotmail.com

Egresado de la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo en 1970, estudios de Postgrado en el Colegio de Postgraduados Montecillo, México, 1977 maestría, 1994 doctorado en Genética Vegetal. Trabajo en el INIFAP desde 1970 a la fecha (2013). Reconocimiento por aportaciones al mejoramiento genético de maíz por la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal (1998), Reconocimiento del Gobierno del Estado de Guerrero por aportaciones tecnológicas en la generación de variedades (2000); Premio estatal al mérito al Desarrollo Rural "Manuel Meza Andraca" por actos y obras realizadas en beneficio de los Guerrerenses (2000). Reconocimiento por la SOMEFI por trayectoria profesional (2010). Coordinador del Programa de Maíz en INIFAP en el Trópico de México (1984/1987), Coordinador Nacional de Maíz 2008/2010. Miembro del SNI desde 1988, actualmente nivel II. Generación de las 10 Variedades y cinco Híbridos de Maíz. Haber publicado 25 artículos científicos y dirigido más de 35 tesis de licenciatura y postgrado.

Lev Jardón-Barbolla

Facultad de Ciencias, UNAM

levjardon@ciencias.unam.mx, levjardon@yahoo.com.mx

Es jardinero, biólogo por la Facultad de Ciencias (UNAM) y Doctor en Ciencias por el Instituto de Ecología (UNAM). Ha estudiado la historia de la distribución de coníferas, particularmente pinos desde una perspectiva filogeográfica y de genética de poblaciones. Su aproximación al estudio del proceso de domesticación de las plantas cultivadas parte de un punto de vista evolutivo y del análisis de la dimensión política del valor de uso. Es profesor de asignatura e imparte clases de Evolución, Filosofía e Historia de la Biología y Genética de Poblaciones en la Facultad de Ciencias de la UNAM.

Ángel Kato

Colegio de Postgraduados.

katoy@colpos.mx

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista de la Escuela Nacional de Agricultura, Chapingo, México; Maestro en Ciencias (M. C.) de la Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, N. C.; doctorado (PhD) de la Universidad de Massachusetts, Amherst, Mass.. La carrera profesional realizada en 4 instituciones: Escuela Nacional de Agricultura y Programa Interamericano de Maíz (PIM), Chapingo, Estado de México, Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CYMMYT), El Batán, Estado de México, y Colegio de Postgraduados, Chapingo y Montecillo, Estado de México (1958-2012) donde participó en un proyecto de investigación internacional “Origen y diversificación del maíz y sus razas con base en nudos cromosómicos” habiéndose determinado que el maíz fue originado y domesticado a partir del teocintle en 4 centros en Mesoamérica (Teoría Multicéntrica). Actualmente es Profesor Investigador Titular, trabaja de forma multidisciplinaria en el Colegio de Postgraduados las razas Chalqueño, Cónico y Cónico Norteño y su publicación está en proceso de preparación.

Elena Lazos Chavero

Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

lazos@unam.mx

Licenciatura en Biología, UNAM, Premio Medalla Gabino Barreda y tesis premiada por la Sociedad Botánica. Maestría en Antropología Social, ENAH. Doctorado (1992) en Antropología y Socio-economía del Desarrollo en la École des Hautes Études en Sciences Sociales, Paris, Francia. Tesis premiada por INAH “Fray Bernardino de Sahagún”. “Distinción Universidad a Jóvenes Académicos Investigación en Ciencias Sociales” UNAM (1998). Beca CLACSO *senior* (2002). Cátedra Latinoamericana en Suiza Desde 1992, Investigadora Titular C del Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM. (2002-2004) y Cátedra México en la Universidad de Montreal, Canadá (2009). Profesora Invitada en el Hansewissenschaftskolleg (2005). Profesora invitada en la Universidad de Zürich (2013). Coordinadora de 23 proyectos de investigación. Autora y coautora de cuatro libros publicados, dos libros en prensa y más de 80 artículos de investigación y capítulos en libros. Titular de más de 60 cursos en diversas universidades (México, Francia, Suiza, Canadá, Bolivia; Ecuador; Brasil; Grecia; Turquía). Organizadora de congresos, coloquios, diplomados

y conferencista en más de 160 eventos en 22 países. Directora de 56 tesis (10 de licenciatura, 35 de maestría y 11 de doctorado). Miembro de 8 asociaciones internacionales y nacionales. Miembro de comisiones dictaminadoras y comités editoriales. Miembro fundador de la Red de Estudios Sociales sobre Medio Ambiente. Trabajo de campo en Yucatán, Veracruz, Oaxaca, Sinaloa, Jalisco, Tlaxcala en México, Ecuador, Bolivia y Burundi. Asesora de varias asociaciones civiles rurales con el fin de proponer alternativas productivas a familias campesinas e indígenas. Asesora de Línea de investigación: Ecología política en torno a la conservación de la agrobiodiversidad y de los socioecosistemas, políticas agroalimentarias en el medio rural, conocimiento y poder.

Jorge Enrique Linares Salgado

Facultad de Filosofía y Letras, UNAM

lisjor@unam.mx

Es doctor en Filosofía por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Toda su actividad académica la realiza en la misma universidad: es profesor titular de tiempo completo de la Facultad de Filosofía y Letras, ha sido coordinador del Posgrado en Filosofía de la Ciencia y actualmente es director del Programa Universitario de Bioética de la UNAM. Asimismo, pertenece al Sistema Nacional de Investigadores (CONACYT-México), nivel II, y es miembro regular de la Academia Mexicana de Ciencias. Su trabajo docente y de investigación se concentra en la ética de la ciencia y la tecnología, la bioética y la ética contemporánea.

Rubén López-Revilla

Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica (IPICYT)

rlopez@ipicy.edu.mx

Médico (Universidad Autónoma de San Luis Potosí). Doctor en Genética (Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, CINVESTAV). Fue coordinador académico y jefe del Departamento de Biología Celular del CINVESTAV. Co-fundó los posgrados en Biomedicina Molecular del CINVESTAV y del Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada. Co-fundó el IPICYT, donde fue el primer jefe de la División de Biología Molecular. Ha trabajado en genética molecular de *Escherichia coli*, biología molecular de virus oncogénicos, biología celular y molecular y patogenia de la amibiasis, e inmunología de las mucosas. Su interés actual es el diagnóstico y la epidemiología molecular de las infecciones por virus del papiloma humano y de la tuberculosis humana

y bovina. Ha publicado más de 100 artículos y dirigido o codirigido más de 70 tesis de licenciatura, maestría y doctorado.

Catherine Marielle

Grupo de Estudios Ambientales - GEA AC

geasas@laneta.apc.org, marielle.cati@gmail.com

Formación en ciencias políticas en Francia y en agroecología a partir de 1975 en México. Socia fundadora del GEA AC en 1977; colaboradora en proyectos de investigación-acción en agricultura chinampera de Xochimilco, en conocimientos y usos campesinos de productos forestales en la Sierra Norte de Puebla en los años setenta y ochenta, y en intercambio de experiencias y sistematización de información útil para la acción en la década de 1990; coordinadora general del GEA entre 1997 y 2000; y desde 2001, coordinadora del Programa Sistemas Alimentarios Sustentables, enfocado a procesos de agroecología y organización comunitaria del territorio, acciones jurídico-políticas y de incidencia, producción y socialización de información y participación en diversos colectivos de defensa del maíz nativo. Conferencista en numerosos talleres, seminarios, foros y congresos nacionales e internacionales; autora, coautora y/o coordinadora de más de medio centenar de artículos, libros, folletos, videos y series radiofónicas sobre maíz, biodiversidad, ciencia campesina, agroecología, sustentabilidad, soberanía alimentaria y transgénicos.

Claudio Martínez Debat

Facultad de Ciencias, Universidad de la República. Montevideo. Uruguay.

clau@fcien.edu.uy

Es Profesor Adjunto de la Sección Bioquímica del Instituto de Biología de la Facultad de Ciencias, e integra la Comisión Directiva del Espacio Interdisciplinario, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Es Profesor visitante de la UNAM, colaborando con la Dra. Elena Alvarez-Buylla. Sus temas principales de investigación científica son: Trazabilidad Molecular Alimentaria (Detección de Especies Animales y Vegetales en alimentos. Detección de transgénicos en alimentos y cultivos); Conservación de la Biodiversidad; Relación entre Ciencia, Tecnología y Sociedad; Divulgación Científica. Ha escrito varios capítulos de libros, y tiene más de quince trabajos en revistas arbitradas. Es detentor de una patente en biotecnología. Ha sido y es responsable de

varios proyectos de investigación financiados. En sus raros ratos libres es músico integrante de la banda Supernova.

Yolanda Massieu Trigo

Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco

yola_massieu@hotmail.com

Estudió la licenciatura en Medicina Veterinaria y Zootecnia en la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)-Unidad Xochimilco, la Maestría en Sociología Rural en la Universidad Autónoma Chapingo y el Doctorado en Economía en la Universidad Nacional Autónoma de México. Ha obtenido dos veces (una de manera colectiva y otra individual) al premio Ernest Feder del Instituto de Investigaciones Económicas de la UNAM y ha sido becaria del Biotechnology and Development Monitor de la Universidad de Amsterdam en los Países Bajos. Es autora y coautora de numerosos artículos en revistas nacionales y extranjeras y ha expuesto decenas de ponencias referentes a su tema en eventos académicos nacionales e internacionales. Ha publicado tres libros, uno colectivo y dos de autoría individual. Actualmente es Coordinadora del Posgrado en Desarrollo Rural de la UAM-Xochimilco.

Leonora Milán

leos19@yahoo.com

Bióloga, Maestra en Filosofía de la Ciencia, Candidata a Doctor en Filosofía de la Ciencia; profesora de la asignatura de Ciencia y Sociedad en la Facultad de Química, UNAM; ha trabajado el tema de organismos genéticamente modificados desde hace varios años.

Joaquín Gerardo Morales Valderrama

jmchacarero@gmail.com

Originario de la ciudad de México, realizó sus estudios profesionales en la Universidad Autónoma Chapingo, egresando en 1985 del Departamento de Sociología Rural. Se doctoró (2005) con el tema: "Sistema agroalimentario del maíz de Jalisco". Con la Unión de Ejidos de la Exlaguana de Magdalena desarrolló la Unión de Crédito Amaquense que apoyaría a la Comercializadora Agropecuaria de Occidente (COMAGRO).

Leticia Moyers

Laboratorio especializado de Ecología, Facultad de Ciencias, UNAM
laetitia@gmail.com

Bióloga por la Facultad de Ciencias de la UNAM, en un primer momento me dediqué a la investigación en ecología de comunidades de insectos y comunidades vegetales. El trabajo en esta área de investigación me llevó a interesarme en la biología de cultivos, por lo que comencé la colaboración con este grupo de trabajo en la investigación de cultivos cuyo centro de origen es nuestro país. Luego de colaborar en proyectos relacionados con el algodón, el maíz y el tomate, me dediqué a realizar mi proyecto de maestría, enfocado en la evolución de caracteres reproductivos de tortugas.

Jorge Nieto Sotelo

Laboratorio de Fisiología Molecular, Jardín Botánico
Instituto de Biología de la UNAM
jorge.nieto@ibiologia.unam.mx

Biólogo por la Facultad de Ciencias de la UNAM (1981) y Doctor en Biología y Ciencias Biomédicas por la *Washington University* en St. Louis, MO, USA (1988). Realizó estancias postdoctorales en el *California Institute of Technology* y en la Universidad de California en Berkeley (1988-1993). Autor de artículos de investigación, patentes y capítulos de libro internacionales relacionados a las adaptaciones y respuestas de las plantas y los microorganismos al medio ambiente a los niveles fisiológico, celular, genético, y molecular. Autor de un libro y de dos informes para el gobierno federal en relación a los organismos genéticamente modificados. Ha impartido un gran número de conferencias en universidades nacionales y extranjeras, así como en congresos nacionales e internacionales. Árbitro de varias revistas científicas nacionales e internacionales. Tutor y docente en tres programas de posgrado de la UNAM.

León Olivé

Instituto de Investigaciones Filosóficas, UNAM
olive@unam.mx

Es investigador del máximo nivel del Instituto de Investigaciones Filosóficas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Pertenece al Sistema Nacional de Investigadores de México, con la categoría más alta. Sus áreas de trabajo son: 1) multiculturalismo y relaciones interculturales; 2) filosofía de la ciencia y la tecnología; 3)

epistemología; 4) relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad; 5) las sociedades del conocimiento. Ha publicado diez libros y más de 100 artículos de investigación, también ha editado once volúmenes colectivos. Actualmente es Director del Seminario de Investigación sobre Sociedad del Conocimiento y Diversidad Cultural de la UNAM.

Diego Ortega Del Vecchyo

Universidad of California, Los Angeles

diegoortega@ucla.edu

Es un estudiante de doctorado en la Universidad de California, Los Angeles bajo la tutoría el Dr. John Novembre. Es licenciado en Ciencias Genómicas por la Universidad Nacional Autónoma de México y realizó su tesis de licenciatura en el Instituto de Ecología, UNAM en el laboratorio del Dr. Daniel Piñero. Ha hecho investigaciones en el área de la genética de poblaciones teórica y ha colaborado en proyectos que ayudan a establecer el centro de origen y de diversidad genética de la especie de algodón *Gossypium hirsutum*. Sus actuales intereses de investigación están relacionados al desarrollo de modelos estadísticos que nos ayuden a comprender mejor cómo la selección natural ha influido en la evolución del genoma humano.

Rafael Ortega Paczka

Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo. paczka@correo.chapingo.mx

Especialista en estudios, conservación y aprovechamiento de los maíces criollos de México, así como en recursos fitogenéticos en general. Nació en la ciudad de México en 1944. Ingeniero Agrónomo por la Escuela Nacional de Agricultura en 1971. Maestro en Ciencias en Botánica por el Colegio de Postgraduados en 1973. Doctor en Agricultura por el Instituto N. I. Vavilov de la URSS en 1985. Coordinador del Banco de Germoplasma de Maíz del INIA (Hoy INIFAP) 1973-1979. Subdirector General de Investigación de la Universidad Autónoma Chapingo en 1985-1987 y 2003-2007. Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma Chapingo de 1987 a la fecha. Presidente de la Sociedad Mexicana de Fitogenética 2000-2002. Productividad: 22 artículos en revistas de excelencia, 19 capítulos de libros, coautor de dos libros, 30 ponencias publicadas en extenso; director o asesor de 10 tesis de licenciatura, 9 de maestría y 10 de doctorado. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I 1986-2023

Artemio Palafox Caballero

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INIFAP-Campo Cotaxtla, Veracruz

palafox.artemio@inifap.gob.mx, sierra.mauro@inifap.gob.mx

Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, egresado en 1980 de la Universidad Autónoma Chapingo; Maestro en Ciencias con especialidad en Desarrollo Rural, egresado en 1987 del Colegio de Postgraduados. Experiencia laboral en el Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, a partir de agosto de 1980 a diciembre del 2000 en el Programa de Difusión Técnica y posteriormente en el Programa de Maíz, hasta la fecha; con énfasis en actividades de validación y transferencia de la tecnología generada para el cultivo y en apoyo al programa de mejoramiento genético; participando en la integración y validación de tecnología de producción y en la generación de híbridos y variedades de maíz para el trópico mexicano. Ha tenido interacción con productores, principalmente de maíz, con organizaciones de productores, con técnicos e instituciones, promoviendo el uso de la tecnología generada para maíz de manera directa, a través de documentos impresos, cursos de capacitación y eventos demostrativos.

Lizy Peralta Mercado

Coordinadora del Programa de Defensa del Centro “Fray Julián Garcés”
Derechos Humanos y Desarrollo Local, A.C.

defensafrayjulian@hotmail.com

Abogada por la Universidad Londres, con experiencia laboral en:

- 2012. Programa de Defensa del Centro “Fray Julián Garcés” Derechos Humanos y Desarrollo Local, A.C. Asesoría y acompañamiento a casos por violaciones a derechos humanos y de los pueblos.
- 2006-2011. Programa Sistemas Alimentarios Sustentables (SAS). Grupo de Estudios Ambientales (GEA, A.C.). Análisis de políticas públicas ambientales y agroalimentarias en el ámbito internacional, nacional y regional. Acompañamiento a acciones jurídico-políticas frente a los cultivos transgénicos.
- 2003-2005. Área jurídica de la Unión Nacional de Organizaciones Regionales Campesinas Autónomas (UNORCA). Seguimiento a diversos asuntos agrarios.

- 2001-2002. Subdelegación Jurídica de la Delegación Estado de México. Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA). Resolución de asuntos forestales.

Alma Piñeyro Nelson

almapineyro@gmail.com

Es egresada de la carrera de Biología impartida en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM; 2007) y doctora en Ciencias Biomédicas por la UNAM. Ha participado en la publicación de artículos científicos que documentan el flujo de transgenes a variedades nativas de maíz y algodón en México. En otra línea de investigación ha publicado artículos sobre la genética molecular y la evolución del desarrollo de *Lacandonia schismatica*, planta endémica a la selva Lacandona. Sus intereses académicos están centrados en la evolución del desarrollo y la genética molecular de las plantas, la filosofía de la biología, así como la bioseguridad y biomonitorio de OGMs en centros de origen y diversidad.

Es miembro fundador de la UCCS.

Alejandro Polanco Jaime

Economía, Administración y Desarrollo Rural, FMVZ-UNAM

ideapolanco@gmail.com

Estudió Veterinaria y Zootecnia en la UNAM y realizó maestría en ciencias en Viena Austria, Doctorado en Ciencias Agrícolas en la Universidad de Gotinga, Alemania y Doctorado en Ciencias en la Universidad de Cornell, EUA. Se ha dedicado a analizar las instituciones mexicanas de educación superior, de investigación y transferencia de tecnología del ámbito rural. Ha ocupado puestos directivos en el Centro Nacional de Investigaciones Agrarias, en el Instituto Nacional de Capacitación Rural, ITESM, y dirigió el Programa Universitario de Alimentos de la UNAM. Es autor de libros relacionados a la innovación tecnológica en el campo mexicano.

Arturo Puente González

Investigador/consultor independiente

pgarturo@prodigy.net.mx

Ingeniero Agrónomo Fitotecnista, Escuela Nacional de Agricultura, 1974-1977. Maestría en Economía Agrícola, Colegio de Postgraduados, 1980-1981. Especialización en: Planeación y Evaluación de Proyectos

para el Desarrollo Rural en el Instituto de Desarrollo Económico, Banco Mundial, 1984. Política Agrícola y Alimentaria en el Instituto de Investigaciones Alimentarias, Universidad de Stanford, 1990. Proyectos de Inversión en el Instituto Harvard para el Desarrollo Internacional, Universidad de Harvard, 1993. Investigador Invitado (1997) e Investigador Asociado (1998-1999) en el Centro para la Ciencia y la Política Ambiental de la Universidad de Stanford. Su experiencia profesional se ha desarrollado en la investigación, la academia, el gobierno y la consultoría.

David Quist

Genøk - Centro para la Bioseguridad, Noruega
david.quist@uit.no

Actualmente es científico de Genøk - Centro para la Bioseguridad en Tromsø, Noruega. Obtuvo su doctorado en la Universidad de California, Berkeley, donde investigó el ADN transgénico en variedades criollas de maíz en Oaxaca, México. Sus actividades de investigación actual se centran en la biología y detección de transgenes en diferentes contextos biológicos y ecológicos, evaluación de riesgo y monitoreo de biotecnologías emergentes, e interfase entre la ciencia-tecnología-sociedad.

Flavio Antonio Rodríguez Montalvo.

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. INIFAP Campo Experimental Cotaxtla. Veracruz, México.
rodriguez.flavio@inifap.gob.mx

Ingeniero agrónomo con especialidad en fitotecnia egresado de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Veracruzana. Desde 1985 a la fecha se desempeña como Investigador en el programa de maíz del Campo Experimental Cotaxtla del INIFAP, en actividades de mejoramiento genético y desde el año 2003 a la fecha es responsable de la producción de semillas de alto registro de maíz en la región Golfo Centro del INIFAP. Participación en la generación de los híbridos comerciales H-512, H-519 C, H-520 (calidad normal) y HV-521 C, H-519 C, H-553 C, H-564 C (calidad proteínica) y de las variedades de polinización libre V-530, VS-536 (calidad normal), V-537 C y V-556 A C, algunos de ellos se utilizan por los agricultores del sureste de México en cuando menos 60 mil ha a través de empresas nacionales que adquieren semilla de INIFAP. Participación como colaborador y responsable en más de 30 publicaciones científicas y tecnológicas.

Blanca Aurora Rubio Vega

Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM.

blancaa@unam.mx

Doctora en Economía por la Facultad de Economía de la UNAM. Investigadora definitiva de tiempo completo del Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM. Imparte clases en el Postgrado de la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la UNAM.

Autora de Libros como: Resistencia campesina y explotación rural en México. Editorial ERA. 1987.

Explotados y excluidos: los campesinos latinoamericanos en la fase agroexportadora neoliberal. Cuarta Edición. Plaza y Valdés. México. 2012.

Fue presidenta de la Asociación Latinoamericana de Sociología Rural y obtuvo el Accésit del Premio José Luis Sampedro que otorga la Sociedad de Economía Mundial en el 2010.

Actualmente es directora de la Revista ALASRU Nueva Época que edita la Asociación Latinoamericana de Sociología Rural.

Participa en la Red Nacional de Promotoras y Asesoras Rurales.

Adelita San Vicente Tello

Directora de la Fundación Semillas de Vida, A.C.

adelita@semillasdevida.org.mx

Ingeniera Agrónoma con Maestría en Desarrollo Rural por la Universidad Autónoma Metropolitana. Especializada en Economía del Sistema Agroalimentario en Italia. Doctorante de Agroecología de la Universidad de Antioquia. A lo largo de diez años desempeñó diversos cargos en la administración pública vinculados al sector rural en diversas instituciones y niveles de gobierno. Fue Secretaria técnica de la Comisión de medio ambiente y recursos naturales en la LXVIII legislatura del Estado de Morelos y se integró, mediante concurso de oposición, al equipo de Asesoría profesionalizada del Área de desarrollo rural y medio ambiente en la LIX legislatura de la Cámara de Diputados. Ha trabajado para diversas organizaciones campesinas y no gubernamentales desarrollando programas de educación ambiental y planeación para el manejo sustentable de los recursos naturales. En 2007 fue parte de las convocantes de la Campaña Nacional *Sin maíz no hay país* que reúne diversas organizaciones campesinas, ambientalistas, de derechos humanos y de consumidores e intelectuales en defensa de la agricultura campesina.

José A. Sarukhán Kermez

Coordinador Nacional de la CONABIO

cn@conabio.gob.mx

Nació en el DF (1940). Biólogo por la UNAM (1964), maestro en ciencias agrícolas por el Colegio de Postgraduados (1968), y doctor en ecología por la Universidad de Gales (1972). Profesor de la ENA, Chapingo (1963-1965), de la Organization for Tropical Studies, en Costa Rica (1965 y 1973-1976), del University College of North Wales (1971), de la Universidad de Buenos Aires (1975 y 1976) de la Universidad de Texas, Austin (1979), de la Universidad de Stanford (1997-98) y la Universidad de Barcelona (2005). En la UNAM ha sido: profesor de la Facultad de Ciencias desde 1973, investigador, y director del Instituto de Biología (1979-1985); coordinador de la Investigación Científica (1987-1988) y Rector de la UNAM por dos períodos (1989-1997). En 2005 fue designado Investigador Emérito de la UNAM.

Se ha especializado en el estudio de ecología vegetal de poblaciones y sistemas, ecología global, biodiversidad y darwinismo, así como en aspectos de educación superior, ciencia y tecnología. Ha publicado más de 110 trabajos científicos y de divulgación, y es autor, colaborador o editor de varios libros sobre estos temas, tales como *Árboles Tropicales de México* (1968, 1998 y 2005), *Manual de Malezas del Valle de México* (1997), editor de los libros *Perspectivas on Plant Population Ecology* (1984) y *México ante los retos de la Biodiversidad* (1992) ambos en coautoría con R. Dirzo. Autor y editor de *Conserving Biodiversity* (2005), autor de *Las musas de Darwin* (1988), compilador general de la obra *Capital Natural de México* (2009), coautor del libro *El Cambio Climático: causas, efectos y soluciones* (2010), y coordinador del libro *Patrimonio Natural de México: Cien casos de éxito* (2010). Ha recibido doctorados *honoris causa* por las universidades de San Marcos de Lima, de Gales, de Nueva York, de Colima, Hidalgo y Morelos y del Colegio de Postgraduados. Recibió el Premio Nacional de Ciencias Físico-Matemáticas y Naturales (1990), el de Ciencias Naturales de la Academia de la Investigación Científica (1980), el Centennial Award de la Botanical Society of America (2006) y la Medalla John C. Phillips de IUCN (2008), Award Certificate for the Novel Peace Prize of the IPCC (2007), Award the 2009 Science Lecture de la Universidad de Chiba, Japon, y recibió la condecoración de la orden Orange-Nazau del Reino de los Países Bajos (2010). El 27 de octubre de 2011 recibió de la Cámara de Diputados la Medalla al Mérito Cívico. “Enrique Neri. Legisladores de 1913”, y el 17 de noviembre la Escuela de Periodismo

Carlos Septién García le entregó el Premio a la Trayectoria en Desarrollo Sustentable. Es Miembro de El Colegio Nacional desde 1985. Presidió la Academia de la Investigación Científica (1984-1985) (hoy Academia Mexicana de Ciencias). Fue Presidente de la UDUAL (1992-1995), miembro de la Comisión Mundial sobre la Ética de la Ciencia y la Tecnología (COMEST/UNESCO) 1998-2004, Presidente de DIVERSITAS (2006-2009), del Consejo Mundial de la Ciencia (ICSU) 2207-2008; Presidente del Comité Evaluador del Millennium Ecosystem Assessment (2008) y del grupo asesor de la CCA sobre maíz transgénico en México (2002-2004), Asesor del Banco Mundial (2005-2006). Miembro de la Junta Directiva del World Resources Institute (2000-2009). Miembro de la Junta de Gobierno de la Universidad La Salle (1999-2002), de El Colegio de México (2000-2005) y de la Universidad Veracruzana (2009-). Es miembro de la Third World Academy of Sciences, de la Academia de Ciencias de California, de la Academia Europea de Ciencias, de la National Academy of Sciences (USA), de la Royal Society de Londres y de la World Academy of Arts and Sciences y a partir del 15 de Febrero del 2010 es Coordinador Nacional de la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO).

José Antonio Serratos Hernández

Asesor Académico, Universidad Autónoma de la Ciudad de México.

jas.uacm@gmail.com

Realizó su doctorado en Biotecnología de Plantas en 1993 en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Su maestría la llevó a cabo en la Universidad de Ottawa, en el Centro Ottawa-Carleton para Estudios de Postgrado de Ontario en Canadá, graduándose en 1987. En 1984 completó la licenciatura en Biología en la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM. Se especializó en Agroecología en 1983 en el Instituto de Investigación sobre los Recursos de la Tierra del Ministerio de Agricultura y Agroalimentación en Ottawa, Canadá. Actualmente es asesor académico e investigador en la Universidad Autónoma de la Ciudad de México. Se ha desempeñado como Profesor-Investigador en El Colegio de México de 2005 a 2007. Tuvo el cargo de Científico Adjunto en el Centro de Biotecnología Aplicada del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo de 1998 a 2005. Miembro fundador de la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad de la cual actualmente es vicepresidente. Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel I.

Mauro Sierra Macias

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INIFAP-Campo Cotaxtla, Veracruz

sierra.mauro@inifap.gob.mx, mauro_s55@hotmail.com

Ingeniero agrónomo en Fitomejoramiento egresado en 1977 de la Facultad de Agrobiología Presidente Juárez de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Maestro en ciencias especialidad en Fitomejoramiento egresado en 1983 del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, (ITESM). Doctor en Ciencias egresado en 2002 de la Universidad de Colima. visitante científico en la unidad de stress de CIMMYT del 1o. de octubre de 1995 al 28 de febrero de 1996 Experiencia en investigación como investigador del programa de maíz para el trópico en el campo Experimental Cotaxtla del INIFAP de agosto de 1977 a la fecha . Miembro del Sistema Nacional de Investigadores desde 1986, actualmente Nivel II. Ingeniero agrónomo del año en 1993, Reconocimiento de alta productividad, por aportaciones al mejoramiento genético de maíz para el trópico por la Fundación Mexicana para la Investigación Agropecuaria y Forestal en 2001. Segundo lugar premio ADIAT a la innovación tecnológica con el trabajo “producción de semilla, promoción y uso extensivo de maíces de calidad proteínica para elevar el nivel nutricional de los mexicanos” en 2001. Participación en la generación de 6 híbridos, 8 variedades de maíz de polinización libre que han sido utilizados por los agricultores en el sureste mexicano. Participación como responsable y colaborador en más de 70 publicaciones en revistas arbitradas. Asesor de 14 tesis profesionales y 1 de maestría

Margarita Tadeo Robledo

Universidad Nacional Autónoma de México

tadeorobledo@yahoo.com

Ingeniera Agrónomo Fitomejorador: Facultad de Agrobiología Presidente Juárez, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Maestra en Ciencias en Genética, Colegio de Posgraduados. Desde 1982 trabaja como docente en Ingeniería Agrícola, de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC-UNAM). Profesora de Carrera, Tiempo Completo, Titular B. Impartió diversas materias: Producción Agrícola (Cultivos Básicos), Producción y Tecnología de Semillas, Producción de Grano y Oleaginosas, Seminario de Investigación. Coordina equipo de investigación en mejoramiento genético y tecnología de semillas en maíz, de profesores, investigadores y estudiantes. Generó y desarrollo 12 híbridos de grano

blanco y seis variedades de maíz de grano amarillo, inscritos ante el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV), usados comercialmente por la Productora Nacional de Semillas (PRONASE) y luego por Semillas REGA. Coordina Cátedra de Investigación, Proyectos PAPITT, en torno a la línea de investigación con calidad proteínica y androesterilidad. Actualmente trabaja en la obtención de nuevos híbridos de maíz Puma 1183 AEC1, Puma 1183 AEC2, Puma 1185 AEC, así como una variedad de grano blanco. Participó activamente en colaboración con investigadores del INIFAP, en desarrollo de híbridos como: H-50, H-48, H-51 AE, V-54 A, V-55 A, H-53 AE, H-57 AE, Prospecto AE2, Prospecto AE3, entre otros, los cuales son usados en forma extensiva por agricultores de Valles Altos de México.

Terje Traavik

Centro de Bioseguridad Genøk, Noruega

terje.traavik@genok.org

Director del Centro de Bioseguridad Genøk en Noruega, autor de más de 220 artículos científicos y capítulos de libros. Fue profesor de virología en la Universidad de Tromsø, Noruega de 1983 a 2003.

Inicialmente médico virólogo y molecular, después trabajo en la investigación molecular y celular de cáncer. En 1992 recibió el Premio de la Fundación Erna y Olav Aakre, por su excelente investigación en cáncer. En 1990 fue el Jefe del Programa Nacional de Investigación sobre los efectos al medio ambiente de la biotecnología, el cual fue fundado por el Consejo de Investigación de Noruega. En 1997, fue uno de los fundadores y primer Gerente General, y posteriormente Director Científico de GenØk, el instituto Noruego de Ecología Genética. Desde 2003 también se ha desempeñado como Profesor de Ecología Genética en la Universidad de Tromsø. Actualmente es miembro del Consejo Consultivo de Biotecnología de Noruega y consultor de la Agencia Europea de Medicamentos (EMEA).

Antonio Turrent Fernández

Investigador Titular del Programa de Maíz, INIFAP, Texcoco, Estado de México

aturrent37@yahoo.com.mx

Ingeniero Agrónomo graduado en la Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo, México y Doctorado en la Universidad Estatal de Iowa, EEUU en 1968. Investigador Titular del Programa de Maíz del Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) y Profesor Investigador de Tiempo Liberado del Colegio de Postgraduados. Experiencia en el desarrollo de tecnologías de producción de cultivos básicos bajo temporal, para pequeños productores y Profesor de la materia “Metodología de la investigación en Productividad de Agrosistemas”. Investigador Nacional III desde 1989. Ha graduado 120 Maestros en Ciencias, Doctorados y Licenciaturas. Ha estudiado y publicado sobre el potencial productivo de maíz y frijol de la República Mexicana. Actualmente forma parte del grupo interinstitucional INIFAP-COLPOS que desarrolla el sistema tecnológico “Milpa Intercalada en Árboles Frutales para la Agricultura de Subsistencia”. Distinciones: Investigador Nacional Emérito desde 2009, Investigador Nacional III desde 1989; Premio Luis Elizondo 1996 Científico y Tecnológico en el Área de Agropecuarias y Tecnología de Alimentos, del Instituto de Estudios Superiores de Monterrey. Membresía en Sociedades Científicas: Academia Mexicana de Ciencias, Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Academia Mexicana de Ingeniería, American Society of Agronomy. Dirección Postal: Campo Experimental Valle de México, km 18.5 carretera Los reyes-Lechería, Municipio de Texcoco, Estado de México. CP 56230

Roberto Valdivia Bernal

Profesor-Investigador de la Universidad Autónoma de Nayarit
beto49_2000@yahoo.com.mx

Fitomejorador en maíz y sorgo, mexicano. Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad de Guadalajara y Doctorado en la Universidad Estatal de Iowa, EUA en 1988; profesor Arnel R. Hallauer. Experiencia en el desarrollo de maíces mejorados. Investigador Titular del Programa de Maíz del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, antes, INIA) en los Campos Experimentales de Río Bravo, Tamps, Santiago Ixcuintla, Nayarit, Cotaxtla, Veracruz y Valle de México. Actualmente profesor-investigador en la Universidad Autónoma de Nayarit; perfil PROMEP (1997-2014), SNI I; Cuerpo Académico Mejoramiento Genético Vegetal y Producción de Semillas” UAN-CA-8. Participación en el desarrollo de híbridos de maíz para las regiones Cálido-Seco, Trópico-Húmedo, Centro-Occidente y Valles Altos de México.

Ana Wegier

Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP).

awegier@gmail.com

Es investigadora titular A, en el laboratorio de Biotecnología Forestal del INIFAP. Su principal interés es la evolución de las especies con centros de origen mesoamericanos. En particular, la genética de poblaciones aplicada a la determinación, manejo y conservación de los centros de diversidad genética. Comenzó hace diez años a estudiar la evolución de las poblaciones silvestres de algodón en México con interés en el flujo génico y medidas de bioseguridad necesarias para su conservación, las líneas se han ampliado en la actualidad a especies forestales y a otros cultivos como el aguacate y el tomate verde. Se formó como bióloga en la Facultad de Ciencias de la UNAM, estudió la Maestría en Ciencias Biológicas y concluyó el Doctorado en Ciencias Biomédicas en el Instituto de Ecología de la UNAM.

Brian Wynne

b.wynne@lancaster.ac.uk

Es profesor de Estudios sobre la Ciencia en el Centro para el Estudio del Cambio Ambiental del Departamento de Sociología de la Universidad de Lancaster, Reino Unido. Estudió la maestría en Ciencias Naturales y el doctorado en Ciencias de Materiales, en la Universidad de Cambridge antes de estudiar una maestría en Sociología de la Ciencia en la Universidad de Edimburgo. Ha trabajado la sociología del uso del conocimiento científico en áreas públicas, especialmente en lo referente a la evaluación de tecnologías, la evaluación del riesgo, las políticas públicas y controversias. Inicialmente se enfocó en analizar las temáticas mencionadas en tecnologías basadas en energía nuclear; recientemente se ha centrado en la biotecnología y otras tecno-ciencias tales como la nanotecnología. Su libro de 1982, *Rationality and Ritual: participation and exclusion in nuclear decision-making* fue publicado nuevamente por Earthscan en 2011 y su libro más reciente, escrito con Claire Waterton y Rebecca Ellis, *Barcoding Nature: Cultures of Taxonomy in an Age of Biodiversity Loss*, fue publicado por Routledge en Mayo de 2013. En 2007 dirigió a un grupo de expertos para la elaboración de un reporte para la Comisión Europea: *Science and Governance: Taking European Knowledge Society Seriously* (Reporte de la Unión Europea, EUR22750, Bruselas 2007). También fue de los primeros miembros del Consejo Administrativo y comité Científico de

la Agencia Ambiental Europea (1994-2000) y co-editor de libro de esta Agencia (2002): *Late Lessons From Early Warnings: The Precautionary Principle in the 20th Century*, publicado por Eartscan. En 2013 fue profesor visitante en el Instituto de Ecología Genética en Tromso, Noruega, así como profesor visitante en el Centro para la Tecnología, Innovación y Cultura de la Universidad de Oslo, Noruega.

Benjamín Zamudio González

INIFAP-Valles Altos con sede en Toluca

bzamudiog@yahoo.com.mx

Ingeniero Agrónomo egresado de la Universidad Autónoma de Nuevo León, diplomado en Contaminación de Suelos y Cuerpos de Agua por la Universidad de Sonora, Master de Nutrición en Cultivos Intensivos y Protegidos por la Universidad Politécnica de Cartagena España, maestría y doctorado en Edafología con orientación en Física de Suelos y Fisiología de la Nutrición Vegetal en el Colegio de Postgraduados, en esta última distinguido con Mención Honorífica por desempeño y trabajo de investigación. Ha sido autor principal de 28 artículos en revistas indexadas, más de 120 publicaciones en Congresos, director 36 tesis de licenciatura - maestría y doctorado de egresados de la UANL-UACH-UNAM; en temas de conservación de Recursos Naturales- Mejoramiento de Suelos y Fisiología de la Nutrición Vegetal. Editor y revisor Técnico de Proyectos de Investigación en INIFAP-Centro de País y diversas Revistas científicas del área de Suelos y Recursos Naturales. Miembro del SNI-I. Actualmente atiende líneas de investigación relacionadas en maíz en Valles Altos de México en temas de degradación de suelos- enmienda y fertilizantes y nutrición de materiales criollos mejorados e híbridos de maíz en etapa previa a la liberación comercial por instituciones y grupos de investigación. Miembro activo de Sociedades Científicas Nacionales e internacionales se Suelos y Nutrición Vegetal. Nacido en México.

El maíz en peligro: un análisis científico, de Elena R. Álvarez-Buylla y Alma Piñeyro Nelson (coordinadoras), se terminó de imprimir en la ciudad de México en noviembre de 2013, en los talleres de Offset Rebosán S.A. de C.V. Av. Acueducto 115, Col. Huipulco, México, D.F. En su composición se utilizaron tipos Helvética, MathematicalPi-Six, NewBaskervilleITC, Symbol, TimesNewRoman, Wingdings3. La formación estuvo a cargo de Luis Alejandro Romero Reyes. El tiro fue de 3 300 ejemplares más sobrantes para reposición sobre papel cultural de 90 gramos.