



BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Michelle Chauvet

BIOTECNOLOGÍA

BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

CONSEJO EDITORIAL

Dra. Leticia Algaba Martínez
Dr. Jesús Álvarez Calderón
Dra. Graciela Lechuga Solís
Dr. Carlos Marichal Salinas
Dr. Manuel Rodríguez Viqueira
Dr. Jean Philippe Vielle-Calzada
Dra. Gina Zabudowsky Kuper

Coordinadora de la colección Biblioteca Básica

Dra. Graciela Lechuga Solís

BIOTECNOLOGÍA Y SOCIEDAD

Michelle Chauvet

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA



Casa abierta al tiempo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA

Rector General

Salvador Vega y León

Secretario General

Norberto Manjarrez Álvarez

Coordinador General de Difusión

Walterio Francisco Beller Taboada

Director de Publicaciones y Promoción Editorial

Bernardo Ruíz

Subdirectora de Publicaciones

Paola Castillo

Subdirector de Distribución y Promoción Editorial

Marco Moctezuma

Diseño original de portada y colección

Mónica Zacarías Najjar

Primera edición: 2015

D.R. © 2015, Universidad Autónoma Metropolitana

Prol. Canal de Miramontes núm. 3855, 2° piso, Ex-Hacienda

San Juan de Dios, Tlalpan, 14387, México, D.F.

Se prohíbe la reproducción total o parcial de esta obra

–incluido el diseño tipográfico y de portada–,

sea cual fuese el medio, electrónico o mecánico,

sin el consentimiento por escrito del editor.

ISBN de la obra: 978-607-28-0612-2

ISBN de la colección: 978-970-31-0461-1

Impreso en México / *Printed in Mexico*

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi profundo agradecimiento a Graciela Lechuga Solís, coordinadora del proyecto Biblioteca Básica de la Universidad Autónoma Metropolitana por la oportunidad de dar a conocer los resultados de la investigación desarrollada en la UAM. Asimismo, a Rosa Luz González Aguirre por sus valiosos aportes y atinadas recomendaciones al texto.

Ofrezco un especial reconocimiento a mis colegas del área de investigación sobre los impactos sociales de la Biotecnología del Departamento de Sociología de la UAM, Unidad Azcapotzalco: Rosa Elvia Barajas, Yolanda Castañeda, Arcelia González, Rosa Luz González, Yolanda Massieu y Paz Trigueros por su apoyo para sostener, desde 1990, esta línea de investigación, cuyos frutos se plasman en este texto. Una particular gratitud para la licenciada Lidia Reyes Vasquez quien colaboró con diversas labores durante el periodo en que fungió como ayudante de investigación del área.

Dedico esta obra a mi familia, que me alentó con su ánimo y cariño durante el proceso de elaboración del libro. Muchas, muchas gracias.

Michelle Chauvet
Otoño, 2015

INTRODUCCIÓN

El objetivo central de este libro consiste en plantear las repercusiones sociales de la biotecnología agrícola ante varias interrogantes: ¿Qué es la biotecnología? ¿En qué ámbitos se aplica? ¿Por qué es importante conocer sus repercusiones sociales y cuál es la utilidad de dicho conocimiento?

Las respuestas a estas inquietudes se irán dando a lo largo de esta obra; sin embargo, es importante avanzar brevemente en la discusión de los dos últimos cuestionamientos.

La ciencia y la tecnología han penetrado en nuestra vida cotidiana, se les acepta como parte de la modernidad y pocas veces se cuestionan sus repercusiones. Se cree que los científicos tienen la respuesta a muchos de los problemas que nos aquejan y en alguna medida es cierto: sus invenciones –puestas en práctica mediante diversos artefactos tecnológicos– han permitido alcanzar el desarrollo económico. Dichos hallazgos facilitan diversos procesos, por ejemplo: la informática permite realizar cálculos complejos en tiempo reducido, o la minielectrónica, junto con la anterior, facilitan la existencia de teléfonos celulares cada vez con mayores aplicaciones. No obstante, la ciencia no posee las respuestas a todas las preguntas que se van presentando; incluso habría que decir que en ocasiones sus desarrollos han acarreado nuevos problemas, como sucedió con la energía nuclear.

De manera que es importante detenerse y reflexionar sobre las implicaciones que conlleva para la sociedad esta dualidad tecnológica, a fin de evaluar los aportes y limitaciones.

Entre los investigadores, pero incluso entre el público en general, se tiende en el determinismo: el curso de los acontecimientos ya está definido y no hay manera de cambiarlo. Para unos es un determinismo comandado por la tecnología, la cual está regida por sus propias reglas, en forma independiente de lo que piense o diga la sociedad. Por otro lado, hay quienes sostienen que dicha sociedad se rige por intereses de grupos poderosos y hegemónicos que determinan el desarrollo de los conjuntos sociales en todos los ámbitos, incluido el tecnológico, y que ya no existe margen de acción.

Estas perspectivas de pensamiento no destacan la estrecha vinculación entre la sociedad y el desarrollo de la ciencia y la tecnología, las cuales no pueden considerarse por separado, dado que se construyen socialmente y por ende, hay posibilidad de acción. En efecto, los grupos y actores sociales pueden intervenir en el curso que tome una tecnología y redireccionarla hacia metas y objetivos que aporten mayor bienestar para la sociedad y no sólo para un reducido grupo hegemónico.

El libro está estructurado en cuatro capítulos. En el primero, “El desarrollo de la biotecnología”, se realiza un recorrido por los adelantos de esta disciplina desde la mirada de las Ciencias Sociales. En efecto, mediante el enfoque teórico-metodológico de los estudios sociales de la ciencia y la tecnología se abordan las

aplicaciones de ésta, así como las controversias generadas. El segundo capítulo “Bioseguridad” se enfoca a la agrobiotecnología y tiene como fin explorar los mecanismos establecidos para lograr un uso seguro de las innovaciones con la meta de disminuir sus riesgos y aprovechar sus potencialidades. Este ámbito se conoce como bioseguridad y tampoco está exento de tensiones entre los actores sociales involucrados, debido a los efectos que puede ocasionar la biotecnología tanto en el medio ambiente como en la sociedad, además del polémico tema del uso de patentes para la materia viva. En el tercer capítulo, “La agrobiotecnología en México”, se abordan los distintos desarrollos de esta innovación para el caso de México, así sean los que han llegado a una fase comercial, como aquellos que se han quedado en el laboratorio. En el último capítulo, “Debate en torno de la biotecnología agrícola”, se examinan los principales aspectos en el debate de los cultivos genéticamente modificados y el papel que cumplen los científicos y la sociedad en este campo.

I. EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA

Las innovaciones tecnológicas se producen de manera continua; sin embargo, cuando éstas abarcan al conjunto de la estructura productiva mundial es cuando se le puede caracterizar como una revolución tecnológica.

El desarrollo de la ciencia está íntimamente vinculado con la generación de puntos de inflexión que dan paso a revolucionar la manera de realizar las investigaciones. Thomas S. Kuhn (1922-1996) se dedicó a estudiar los procesos que provocan las revoluciones científicas, si bien él fue físico de formación, en 1947 se interesó por la historia de la ciencia y se percató de que los fundamentos y métodos del conocimiento científico, o sea, la epistemología, no se correspondían con la realidad y por ello se apasionó ante una inquietud: ¿qué son las revoluciones científicas?

Kuhn identificó dos tipos de desarrollo científico: el revolucionario y el normal. La ciencia denominada normal es acumulativa, y produce los ladrillos que la investigación científica va sumando al creciente edificio del conocimiento científico. Pero también se da un tipo de desarrollo científico que no es acumulativo, que proporciona claves únicas que se diferencian de la ciencia normal y es así como acontece un cambio revolucionario (Kuhn, 1989).

Para comprender este proceso resulta necesario retomar el concepto de paradigma que el autor explicó en 1962 en su libro *La estructura de las revoluciones*

científicas, donde considera “a los paradigmas como realizaciones científicas universalmente reconocidas que, durante cierto tiempo, proporcionan modelos de problemas y soluciones a una comunidad científica” (Kuhn, 1962:13). En ocasiones, los científicos se enfrentan a anomalías, y este fracaso en la aplicación de las reglas del paradigma conduce a una crisis con la consecuente pérdida de confianza en éste, por ser impotente para resolver ciertos problemas. Es así que la transición a un nuevo paradigma da lugar a una revolución científica. No obstante, para que los científicos lo adopten debe cumplir con dos requisitos: que sea la única manera de resolver algún problema extraordinario y al mismo tiempo tenga la capacidad para solucionar un conjunto importante de los problemas resueltos por el anterior paradigma (Gaeta y Gentile, 1996).

El motor de las revoluciones científico-tecnológicas ha sido la búsqueda de salidas a diversas encrucijadas de la humanidad, y la manera en que la ciencia y la tecnología enfrentan los distintos retos está relacionada con la concepción que se tenga de los aportes que puede proporcionar el desarrollo científico. En efecto, después de la Segunda Guerra Mundial, la ciencia se concebía como impulsora del progreso; posteriormente, en los años sesenta y setenta, con el desarrollo del sistema capitalista y su auge, los científicos ofrecieron soluciones, pero también generaron nuevos problemas. Para las décadas de los ochenta y los noventa se concibe a la ciencia como fuente de oportunidades estratégicas, el modo de sobresalir en un mundo cada vez más

competitivo, y en el siglo **xxi**, si bien no de una manera generalizada, se pugna por una ciencia para el bien de la sociedad (Velho, 2011).

El análisis de la aplicación de la ciencia y la tecnología contempla distintos escenarios. En el nivel de laboratorio y prueba piloto¹ se logran resultados importantes; sin embargo, en el ámbito comercial quizás no sean tan exitosos y al final la sociedad puede rechazar el artefacto o innovación generada. En este sentido, Carlota Pérez sostiene que “[...] el mundo de lo técnicamente posible es mucho más amplio que el de lo económicamente rentable y mayor que el de lo socialmente aceptable. Y estos dos últimos tampoco coinciden”. (Pérez, 1986: 43). Es así que poco a poco se van perfilando los actores sociales que interaccionan en la generación de nuevas tecnologías: los científicos, los industriales y la sociedad, entre otros.

La idea de progreso es la que permea el avance de la ciencia que, junto con la tecnología, se considera que generará más riqueza y que ésta se traducirá en bienestar social (López-Cerezo, 1998). Como muestra de este enfoque se tiene la siguiente cita de lo escrito por uno de los biotecnólogos mexicanos más destacados, el doctor Francisco Bolívar Zapata:

¹ Cuando en un laboratorio de investigación se desarrollan nuevos productos que tienen algún propósito de aplicación ulterior es necesario pasar a una fase de prueba fuera del laboratorio, la cual se conoce como prueba piloto, posteriormente si los resultados son positivos se pasa a la fase comercial que implica una escala mayor; sin embargo, no hay garantía de que sean exitosos porque son múltiples los factores que intervienen y los resultados pueden diferir de los hallazgos que se tuvieron en el laboratorio.

El desarrollo científico y tecnológico es uno de los más poderosos motores de cambio social y progreso económico en el mundo actual. El bienestar de las sociedades contemporáneas está determinado, cada vez más, por el avance del conocimiento que se genera y domina, y por las innovaciones que se consiguen implantar. Este factor de bienestar y progreso tendrá, además, una importancia creciente en el futuro. (Bolívar Zapata, 2001: 19).

No obstante, esta concepción despierta muchas interrogantes serias porque la ciencia y la tecnología no actúan de manera independiente de la estructura social. Domènech y Tirado se preguntan:

¿Son las transformaciones sociales una mera consecuencia de los desarrollos tecnológicos o, por el contrario, éstos no son más que respuestas a las necesidades sociales? La respuesta a estas preguntas ha dado lugar a perspectivas deterministas, ya sea que se sostenga que la tecnología obra aparte de los aspectos políticos y sociales, y de allí que la sociedad no tiene intervención alguna en su desarrollo y curso. O bien, el determinismo social que considera que la dirección de las innovaciones tecnológicas responde a intereses económicos, sociales y políticos. (Domènech y Tirado, 2002).

Así, el determinismo social no puede explicar las transformaciones sociales inesperadas e imprevisibles que producen algunas innovaciones tecnológicas. (Domènech y Tirado, 2002). Como ejemplo se tiene la adicción al uso de los celulares “inteligentes”, que provocan una

menor comunicación presencial debido a que las personas consultan sus celulares y prestan poca o nula atención a quienes están en ese momento a su lado, ya sea en una reunión de trabajo o familiar. Se estima que los usuarios de celulares los consultan, en promedio, cada seis minutos y algunos estudios reportan un aumento de la ansiedad y depresión por ese empleo de la tecnología que extiende sus responsabilidades laborales o escolares hacia su vida social (The British Psychological Society, 2012). El determinismo tecnológico no esclarece el papel de los intereses sociales en la aparición y desarrollo de innovaciones tecnológicas (Domènech y Tirado, 2002) que dan curso a ciertos desarrollos y limitan otros, por ejemplo, la aplicación de la biotecnología agrícola para volver a las plantas resistentes a plaguicidas e insecticidas con el fin de continuar vendiendo los productos químicos que las empresas ofrecen.

Es una perspectiva reduccionista considerar a la ciencia y la tecnología como independientes de la sociedad cuando en realidad están íntimamente vinculadas y más que ser mundos separados, representan una co-construcción de significados por parte de la sociedad, de los científicos y los tecnólogos. Ya sea por una interacción o por lo que se ha denominado *el tejido sin costuras* para caracterizar la unión entre lo técnico y lo social (Bijker, Hughes, y Pinch, 1987). Así, lo más adecuado para describir a esa relación es referirse a ensamblajes socio-técnicos.

Los estudios sobre la configuración social de la tecnología no se limitan a considerar los impactos sociales de

la tecnología, sino que van más allá, al analizar el contenido de la misma. Dichas investigaciones muestran que la tecnología no se desarrolla de acuerdo con una lógica técnica interna sino que es un producto social, modelado por las condiciones de su creación y uso. Cada etapa en la generación y aplicación de nuevas tecnologías supone un conjunto de elecciones tecnológicas –aunque no necesariamente sean conscientes– que podrían tener diferentes implicaciones para la sociedad y para determinados grupos sociales (Williams y Edge, 1996). Las opciones afectan el desarrollo de tecnologías y sistemas tecnológicos y la dirección o trayectoria de las diversas innovaciones. De ahí la importancia de estudiar la manera en que el contexto, los propósitos y los aspectos de poder influyen en las elecciones sociotécnicas.

Se enfocan los estudios sociales de la ciencia y la tecnología al análisis de los procesos sociales, históricos, económicos y políticos que afectan la generación y la aplicación de la ciencia y la tecnología (Casas, 2003). En efecto, este campo de las Ciencias Sociales analiza las relaciones entre los avances de la ciencia, las aplicaciones de la tecnología y las implicaciones positivas y/o negativas para la sociedad (de Puelles, 1998). Su propósito consiste en situar a la ciencia y a la tecnología en su contexto social. Desmitificar, que no es descalificar, sino situar las cosas en el lugar que les corresponde, es decir, mostrar sus alcances y limitaciones (López-Cerezo, 1998).

20 | Un excelente marco teórico-metodológico para analizar las implicaciones sociales de las nuevas tecnologías

en general y de la biotecnología moderna, en particular, son los estudios sociales de la ciencia, la tecnología y la innovación, dado que se torna un tema cada vez más complejo, porque hoy en día las nuevas tecnologías se han integrado y vinculado en la era global,² y por ello surge para el científico social un nuevo papel de traductor-facilitador de las necesidades sociales frente a las innovaciones tecnológicas que van surgiendo, con el fin de no servir sólo como enlace, sino también para advertir respecto de sus repercusiones en el ámbito social, económico, político, ético y ambiental y proponer alternativas que re-direccionen la tecnología hacia el bienestar de amplios grupos sociales y no sólo de un reducido número de personas privilegiadas.

Lo que caracteriza a esta era global es que se asiste al predominio de la “sociedad del conocimiento” donde lo valioso no es tanto lo material, sino lo intangible y remite “más a la ‘posesión’ de ideas que de objetos” (Hernanz, 2012: 27). “En este contexto, el núcleo de necesidades sociales básicas a atender en nuestro presente se focaliza en la adecuada gestión social del conocimiento en todos los momentos de su diseño, realización y valoración, a través de la discusión crítica sobre la pertinencia del conocimiento que se está

² Tal es el caso de la nanotecnología que sintetiza varias de ellas en una escala nano: “La nanotecnología es la manipulación de la materia a escala atómica y molecular. Significa combinar artificialmente átomos y moléculas para crear partículas y estructuras que manifiesten funciones nuevas, diferentes a las de la materia en tamaño mayor. Por convención se dice que la nanotecnología trabaja con materiales que tienen al menos una dimensión de hasta 100 nanómetros[...]. ¿Qué es un nanómetro? Es una unidad de medida. Es la millonésima parte de un milímetro” (Foladori y Invernizzi, 2011: 3).

generando hasta la eficacia de su distribución y reapropiación social” (Hernanz, 2012: 12).

La biotecnología y sus aplicaciones

La biotecnología se conoce como “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (CDB, 1992: 3). La palabra biotecnología fue acuñada en 1919 por el ingeniero húngaro Karl Ereky, al referirse a los métodos y técnicas que permiten la producción de sustancias procedentes de materias primas con la ayuda de organismos vivos (Fári y Kralovánszky, 2006).

Como ejemplos más antiguos tenemos la fermentación para la elaboración del pan y del vino; el proceso de nixtamalización del maíz para la preparación de la masa para las tortillas; la maduración de los quesos, entre muchos otros. Sin embargo, con el avance de la ciencia y la tecnología este uso de la materia viva ha llegado a un desarrollo más complejo a partir del avance de la biología molecular y la ingeniería genética, de manera que a esta nueva biotecnología se le conoce como biotecnología moderna.

A continuación se presenta un esquema de las distintas etapas de desarrollo de la biotecnología:

Tabla 1. Cronología del desarrollo
de la Biotecnología

Cronología del desarrollo de la Biotecnología

Era pre-Pasteur (anterior a 1865)

- Bebidas alcohólicas (cerveza, vinos)
- Productos lácteos (quesos, yogurt)
- Vinagre

} **antigua**

Era Pasteur (1865-1940)

- Fermentaciones industriales (etano, butanol, acetona, glicerol)
- Producción de ácidos orgánicos (acético, cítrico, láctico)

Era Antibiótico (1940-1960)

- Producción a gran escala de antibióticos
- Transformaciones esteroideas (cortisona, estrógenos)

Era Post-antibiótico (1960-1975)

- Producción de: Aminoácidos, Enzimas industriales
- Enzimas inmovilizadas
- Proteína unicelular, Polisacáridos

} **clásica**

Era Biotecnología Molecular (1975-presente)

- Tecnología ADN recombinante
- Primeros productos aparecen en el mercado en 1982 (Vacunas, insulina humana)

} **moderna**

Fuente: Soubes, 2009.

En la década de los cincuenta es cuando da inicio la biología molecular al descifrarse la estructura del material genético, pero dejemos a uno de los científicos que descubrió la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN) decirlo en sus propias palabras:

Como solía ocurrir habitualmente los sábados por la mañana, el 28 de febrero de 1953 llegué a trabajar al Laboratorio Cavendish de la Universidad de Cambridge antes que Francis Crick. Tenía una buena razón para levantarme temprano. Sabía que estábamos cerca –aunque no tenía ni idea de cuánto– de descifrar la estructura de una molécula poco conocida llamada ácido desoxirribonucleico: ADN. No era una vieja molécula más: tal como Crick y yo estimábamos, el ADN es la estructura química que contiene la mismísima clave de la naturaleza de la materia viva. Almacena la información hereditaria que se transmite de una generación a la siguiente y organiza el universo increíblemente complejo de la célula. Descifrar su estructura tridimensional –la arquitectura de la molécula– proporcionaría, eso que esperábamos, un indicio de aquello a lo que Crick se refería medio en broma como “el secreto de la vida” (Watson y Andrew, 2003:xi).

El surgimiento de la biotecnología moderna se logró mediante el descubrimiento del código genético de los organismos. El Protocolo de Cartagena sobre seguridad de la biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica define a la biotecnología moderna como la aplicación de: *a)* técnicas *in vitro* de ácidos nucleicos, incluyendo el ácido desoxirribonucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucleico en células u orgánulos, o *b)* fusión de células de la misma o distinta familia taxonómica. Estas técnicas, que no forman parte de las empleadas en la selección y mejora tradicionales, permiten sobrepasar las barreras fisiológicas naturales, ya sean reproductoras o de recombinación (CDB, 2000).

En efecto, las técnicas del ADN recombinante que emplea la ingeniería genética permiten aislar, editar y manipular la composición genética, con lo que se ha logrado incluso el trasplante del ADN entre especies, y se han creado los organismos transgénicos (Bolívar Zapata, 2001).

Por esta razón, en la biotecnología moderna se interviene la información genética de los organismos vivos y ello encierra un gran potencial, pero a su vez un gran riesgo, dado que al ser materia viva no es posible predecir la manera en que va a comportarse, y esto conlleva un alto grado de incertidumbre. Además, al ser posible traspasar las especies, estos organismos transgénicos no existirían como tales en la naturaleza. Es por estos motivos que se le considera como una tecnología controvertida.

Al ser la biotecnología moderna una actividad multidisciplinaria se sustenta en la biología molecular, la ingeniería bioquímica, la microbiología y la inmunología, entre otras (Bolívar Zapata, 2001).

En la tabla 2 se resumen las diferentes actividades que caracterizan el paradigma biotecnológico y por ello son tan variados los campos de aplicación de la biotecnología, como se verá más adelante.

TABLA 2. PRINCIPALES ACTIVIDADES EN EL PARADIGMA BIOTECNOLÓGICO

Actividades	Avances científicos	Oportunidades
ADN/ARN, ADNr ^a	Secuenciación de genomas, genes; ADN; Síntesis y amplificación de ADN y ARN; Farmagenómica e Ingeniería genética; Tecnología “anti-sense”; expresión genética; terapias genéticas	Análisis y modificación de material genético
Proteínas	Secuenciación/síntesis/ingeniería de proteínas y péptidos; proteómica; aislamiento y purificación de proteínas; identificación de receptores celulares; vectores virales; otras	Análisis y modificación de proteínas
Metabolitos	Identificación y cuantificación; Ingeniería metabólica	Análisis de metabolitos (moléculas pequeñas)

Actividades	Avances científicos	Oportunidades
Células y cultivos de tejidos	Hibridación/fusión de células; ingeniería de tejidos; tecnologías embrionarias; tecnologías relacionadas	Manipulación de células con diversos propósitos
Proceso (bioprocesamiento)	Fermentación usando biorreactores; bioprocesamiento; tecnologías asociadas (biolixiviación, biotecnología pulping)	Aplicación a procesos de fermentación
Convergentes con otras tecnologías	Bioinformática	Aplicaciones de computación para el análisis y el almacenamiento de datos biológicos (genomas, secuencias de proteínas, modelación de procesos complejos, etcétera).
	Nanobiotecnología	Aplicación de herramientas y procesos de nanotecnología / microfabricación para construir aparatos y aplicaciones biotecnológicas diversas (estudios de bio sistemas, diagnósticos, etcétera).

(a) ADN: ácido desoxirribonucleico; codifica la información para la reproducción y funcionamiento de las células y para la replicación de la propia molécula de ADN. ARN: ácido ribonucleico; actúa como intermediario y complemento de las instrucciones genéticas codificadas en el ADN. ADNr: (recombinante), molécula de ADN formada por recombinación de fragmentos de ADN de origen diferente.

Fuente: CEPAL, 2008

La biotecnología surge en los laboratorios de investigación básica de las universidades públicas. Tiempo después, los científicos e investigadores decidieron formar empresas para explotar en forma comercial sus experiencias, invenciones y conocimientos generados. El mecanismo empleado fue el del emprendimiento conjunto (*joint venture*), donde dos empresas se comprometen a integrar su capacidad financiera, científica, tecnológica y comercial compartiendo los riesgos y las potenciales ganancias. La mayoría de las empresas biotecnológicas no se iniciaron vendiendo productos, sino con la capacidad de hacerlos (Goldstein, 1989).

Los fundadores de estas empresas biotecnológicas no dejaron sus laboratorios universitarios dado que éstos se encontraban bien equipados y ello otorgaba a los científicos la facilidad de reclutar a los mejores alumnos de licenciatura y posgrado. El formar parte de comités científicos les permitió, asimismo, identificar los distintos avances que estuvieran realizando otros grupos de investigación (Goldstein, 1989). Fue así como los investigadores que participaron en el inicio de estos emprendimientos recibían salario por asesorías, fondos para la investigación y, lo más importante, acciones de la compañía (Kenney, 1992).

Cuando estas compañías biotecnológicas maduraron y empezaron a dar frutos, las industrias farmacéuticas, agroquímicas, petroquímicas y alimentarias se vieron en la necesidad de invertir en dichas firmas para estar presentes con productos biotecnológicos de primera generación y aprender la nueva ciencia. A su vez, las

entidades biotecnológicas podrían tener un producto útil, pero carecían del capital para desarrollarlo, y tampoco contaban con la experiencia en negociación con los reguladores del Estado o con la capacidad comercial para una estrategia global de ventas (Goldstein, 1989), de esa manera se obtenía una alianza socio-técnica de la cual ambas partes obtenían ventajas. No obstante, con el paso del tiempo las grandes corporaciones crearon sus propios institutos de investigación en biología molecular o financiaron laboratorios e institutos en las universidades y prescindieron de las pequeñas empresas especializadas; incluso algunas de ellas fueron compradas por las corporaciones (Goldstein, 1989).

La biología molecular y la bioquímica se desarrollaron con fondos públicos, cuyos investigadores, a su vez, fueron formados en universidades públicas que se mantienen de los impuestos que pagan los ciudadanos, ello genera críticas debido a que la empresa privada se apropia del conocimiento generado con recursos públicos para propósitos comerciales, como lo argumenta Jonathan King: “El público se ve forzado a comprar lo que el propio público inicialmente financió” (1982:40) citado por Kloppenburg (1988). Dado que los ingresos fiscales han sido instrumento en la generación de las nuevas biotecnologías, ¿no debería el público tener un papel mayor en determinar la manera en que éstas se desarrollen? (Kloppenburg, 1988).

En un esfuerzo por facilitar la transferencia de conocimiento de la academia a la industria, las empresas han realizado campañas para dar forma a la legislación

y a las políticas federales, en lo que respecta a cuestiones como los derechos de patentes, la regulación de productos y las estructuras legales (Kloppenburger, 1988).

Este paradigma biotecnológico forma parte de la bio-economía que incluye a todas las actividades económicas e intereses organizados alrededor de los sistemas de la vida. Los principales beneficiarios de la revolución biotecnológica y sus bio-industrias son las grandes naciones industrializadas que destinan una buena parte de su Producto Interno Bruto a investigación y desarrollo de innovaciones tecnológicas. Estados Unidos, Canadá y los países europeos obtienen 97 por ciento de las ganancias de la biotecnología, 96 por ciento del personal empleado y 88 por ciento de las compañías de este ramo (Sasson, 2005).

Campos de aplicación de la biotecnología

La salud, la alimentación, el ambiente y la industria son algunos de los campos de aplicación de la biotecnología y recientemente se perfilan nuevos desarrollos como los biocombustibles de segunda generación y los biofarmacéuticos que vinculan el sector agrícola con el industrial o el farmacéutico (Chauvet y González, 2013a) (Chauvet y González, 2013b).

El carácter multidisciplinario de la biotecnología propicia que sus aplicaciones se presenten en diversos sectores como el de la salud, el agropecuario, el industrial y también hacia el ambiente. Edgar J. DaSilva, de

la división de Ciencias de la Vida, de la UNESCO, asignó distintos colores en función de las aplicaciones de la biotecnología:

- Blanca: Industrial
- Roja: Salud, medicina y diagnóstico
- Gris: Fermentación clásica y tecnología de bioprocesos, ambiente (geomicrobiología, biorremediación)
- Azul: Acuicultura, biotecnología costera y marina
- Amarilla: Biotecnología de alimentos, ciencias de la nutrición
- Negra: Bioterrorismo, biocrímenes, guerra biológica
- Marrón: Biotecnología de desiertos y zonas áridas
- Dorada: Bioinformática, nanobiotecnología
- Verde: Agrícola (biocombustibles, biofertilizantes, plantas genéticamente modificadas, GM)

Fuente: Edgar J. DaSilva (2005). División de Ciencias de la Vida UNESCO, tomado de (Castro, 2012).

Como se mencionó en la introducción, el libro se enfoca en las repercusiones sociales de la biotecnología agrícola, así que antes de entrar en materia se presentan de manera breve las aplicaciones de esta tecnología en los distintos campos, para luego examinar con amplitud a la biotecnología en el sector agropecuario. Cabe resaltar que las aplicaciones de la biotecnología se concentran en dos grandes áreas: la farmacéutica y la agrícola.

La biotecnología utiliza células y enzimas³ para sintetizar productos fácilmente degradables, los cuales pueden funcionar en solventes orgánicos, alta concentración de sales y otras condiciones extremas, además de que disminuyen el empleo de energía y generan menos desechos durante su producción. Ofrecen una alta selectividad y eficiencia en comparación con los procesos químicos. Por ejemplo, en la industria del papel la remoción de la lignina requiere de altas temperaturas y de tratamientos con oxígeno y cloro, que forman derivados clorados tóxicos; mediante el empleo de enzimas el proceso es menos tóxico (Castro, 2012).

Los bioprocesos consisten en el uso de un microorganismo, planta o animal cuyos procesos metabólicos sintetizan naturalmente el producto deseado, sin embargo, hasta antes de las técnicas del ADN recombinante había una limitante en la producción de enzimas y éstas han favorecido su producción. Los bioprocesos son más benignos con el ambiente y son parte integral de los ciclos de asimilación de la materia orgánica del planeta (López-Munguía *et al*, 2001). Entre sus aplicaciones están las biorefinerías para la transformación de la biomasa en energía.

La biotecnología enzimática y de fermentación se emplea en procesos de la industria alimentaria, por ejemplo el cuajo para la fabricación de quesos que antes

provenía de los estómagos de los terneros; aminoácidos como el ácido glutámico que es un aditivo para los alimentos o la lisina que se adiciona a la alimentación animal son producidos vía fermentación; componentes enzimáticos para los detergentes o la glucosa obtenida para la producción del jarabe de fructuosa que proviene del maíz y se utiliza para endulzar bebidas (Sharp, 1995).

Los océanos también son una fuente de microorganismos para distintos procesos industriales, el ochenta por ciento de los seres vivos del mundo se encuentran en ecosistemas acuáticos que reúnen, entonces, gran parte de la biodiversidad del planeta. Los organismos marinos concentran un número muy elevado de compuestos químicos diferentes, algunos de los cuales se ostentan como novedosos para la ciencia y sus aplicaciones. Por ejemplo, a partir de algas es posible producir biodiesel, con la ventaja de que su producción es treinta veces mayor, partiendo de la misma cantidad de materia, dado su alto contenido de aceite; además, su crecimiento es extremadamente rápido; no se requiere del uso de tierras de cultivo productivas; usan aguas residuales como fuente alternativa de nutrientes; no es tóxico: no contiene sulfuros ni sulfatos y es en gran medida biodegradable. Las algas también tienen propiedades nutraceuticas, una de las más conocidas es el alga espirulina que posee propiedades terapéuticas (Castro, 2012).

Un ámbito de aplicación de la biotecnología que genera serias controversias porque su objetivo es la

destrucción y no la generación de bienestar es el uso de las herramientas de la ingeniería genética y biología molecular para el desarrollo de agentes patógenos más infecciosos, virulentos y resistentes, lo que se denomina como armas biológicas (Castro, 2012). Esta realidad trae a colación un debate en el terreno de la ética sobre si el desarrollo de la ciencia y la tecnología es neutral, es decir, el considerar a éstas como carentes de una carga positiva o negativa y que son las aplicaciones y decisiones que se tomen sobre ellas y el fin para el cual sean empleadas, lo que les otorga un valor u otro. Empero, por esta co-construcción social de la ciencia y la tecnología, el científico adquiere una responsabilidad sobre el alcance de sus investigaciones y no puede ser ajeno a los intereses y principios que guían su quehacer científico.

Como sostiene León Olivé “la ciencia y la tecnología no están libres de valores, ni son éticamente neutrales” (Olivé, 2000: 117). Los científicos, por la naturaleza de su trabajo, adquieren responsabilidades de los temas que optan por investigar, de las posibles consecuencias y de los medios que escogen para lograr sus fines. En efecto, el papel de expertos les otorga mayor responsabilidad porque la sociedad les concede autoridad a sus juicios. Asimismo, los tecnólogos deben evaluar las tecnologías no sólo por su eficiencia, sino también en función de las repercusiones sociales y naturales que puedan llegar a generar (Olivé, 2000).

La Asociación Nacional del Rifle, en Estados Unidos, sostiene que “las armas no matan a la gente, las

personas matan a las personas". Esta afirmación omite el hecho de que las armas se han diseñado con el objetivo de asesinar y que la disponibilidad de armas da el poder a algunos y lo quita a otros, además, su amplia disponibilidad ha llevado a muertes accidentales o deliberadas. Otra forma de decir esto es que las armas, como cualquier otra tecnología, tienen políticas y efectos sociales inherentes a su estructura misma (Nicholson, 2008).

Biotechnología en el sector salud

La biotecnología en el sector salud tiene varias aplicaciones, desde la prevención y el diagnóstico hasta la producción de fármacos. El primer producto de la biotecnología que se empleó en la medicina fue la insulina humana, que se clonó en 1978 y con ello permitió el tratamiento para un mayor número de pacientes con diabetes. En 1981 se realizó el primer diagnóstico prenatal de una enfermedad humana mediante el análisis del ADN. Los interferones se utilizan ahora en algunos tratamientos contra el cáncer. Ciertas vacunas para la hepatitis A y B provienen de procesos biotecnológicos, por dar algunos ejemplos.

El desarrollo de las técnicas del ADN ha permitido examinar la identidad de los individuos, dado que cada persona posee una composición única de ADN, las diferencias en su secuencia pueden determinar la paternidad de un sujeto o identificarlo; confrontar donantes de órganos con receptores en programas de

trasplante o poder diagnosticar enfermedades infecciosas o de desórdenes genéticos. Hay una firme creencia en que la medicina individualizada, denominada medicina genómica, es una de las áreas más promisorias.

No obstante, es necesario levantar la voz de alerta ante los alcances reales de la medicina genómica, como lo afirma el científico uruguayo Juan Cristina, se cae con facilidad en el determinismo genético al concebir que estamos determinados por los genes y que nuestra suerte está echada porque se presenta “evidencia científica” del “orden natural de las cosas”, es ésta una visión reduccionista dado que “la mayoría de los genes que influyen muchas partes de nuestra anatomía y comportamiento operan a través de complejas interacciones con otros genes, sus productos, y con factores medioambientales dentro y fuera del organismo (Cristina, 2003). En la mayoría de los casos las pruebas genéticas muestran una predisposición del individuo, o sea, el aumento de la probabilidad de contraer una enfermedad, pero los factores que puede desencadenar o no cierto padecimiento son múltiples y la causa no reside tan sólo en el perfil genético del individuo (Rivera, 2003).

El proyecto más ambicioso y prometedor para la medicina ha sido el del genoma humano. En efecto, descifrar la secuencia de ADN del ser humano –que logró en el año de 2003 la empresa privada Celera Genomics– abre la posibilidad de avanzar en la medicina genómica; por medio de la proteómica se puede conocer la secuencia genética y como ésta se transforma en

una proteína que desarrollará cierta función y con ello prescribir medicinas específicas para cada individuo.

No obstante, estas innovaciones en el campo de la medicina no están exentas de cuestionamientos por las implicaciones que tiene el patentar, prácticamente, la vida misma por parte de una empresa privada. Este hecho ha originado un gran debate. El sistema de patentes que rige en la economía actualmente consiste en otorgar un documento –la patente– en que oficialmente se le reconoce a alguien una invención y los derechos que de ella se derivan.

¿Se pueden patentar los genes? Para poder obtener una patente sobre un producto o proceso se requiere cumplir con el requisito de que sea una invención. En el caso de los genes humanos, éstos existían antes de nacer o incluso antes de que surgiéramos como especie, entonces la “invención” precede al inventor; sin embargo, se están patentando los genes de humanos, animales y plantas, incluso se están patentando genes que aún no se sabe cuál sería su utilidad (Cristina, 2003).

Los productos de la biotecnología parten de elementos vivos y en el caso a que nos referimos, de genes humanos que pertenecen a un individuo y, sin embargo, los laboratorios patentan el producto o el proceso obtenido, ya sea medicamentos, terapias clínicas u otros procedimientos. El argumento que sostienen es que la protección del conocimiento generado permitirá obtener recursos para recuperar las inversiones erogadas en la investigación y, al mismo tiempo, obtener financiamiento para continuar con el desarrollo de nuevas

invenciones. Por otra parte, hacer del dominio público, sin ningún costo, la información generada desalentaría el continuar investigando. Quienes sostienen esta postura son científicos allegados a empresas, así como las empresas biotecnológicas.

La opinión contraria a patentar la vida proviene de organizaciones no gubernamentales, y también de una parte de la comunidad científica y bioética, quienes sostienen que los derechos de una persona a decidir sobre su propio cuerpo y su vida se verían gravemente dañados si los seres humanos, partes de su cuerpo, sus rasgos físicos y psicológicos, y la información genética, pueden convertirse en propiedad exclusiva del titular de una patente. Además, la expedición de patentes sobre seres vivos supone la apropiación de una parte de la vida para su explotación, con lo que la relación de la sociedad con la naturaleza se reduce nada más a intereses económicos. Se contraponen los aspectos éticos: valores frente a intereses económicos. En 1997, la UNESCO se pronunció –en la Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos– porque el genoma humano sea considerado patrimonio de la humanidad (UNESCO, 1997).

Es difícil pensar que el curso que ha tomado el sistema de patentes se revierta, ya que está en juego la concentración de un gran capital en un número reducido de empresas. En 1996, las compañías suizas Ciba-Geigy AG y Sandoz AG se fusionaron en Novartis AG; para 1999 la firma francesa Rhône-Poulenc y la alemana Hoechst AG formaron Aventis; Astra, de Suiza, y

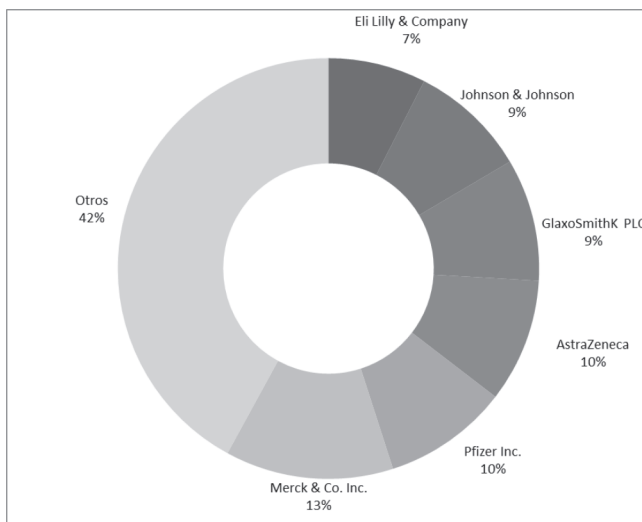
Zeneca, del Reino Unido, constituyeron AstraZeneca y al final de ese año Pfizer Inc. compró Warner-Lambert and Pharmacia con lo que se convirtió en la farmacéutica líder en el mercado que en 2003 tuvo un retorno de su inversión por \$38.2 billones de dólares y ganancias por \$4.7 billones de dólares (Sasson, 2005).

Para Novartis, la política de adquisición de laboratorios y fusiones de empresas responde al hecho de que el desarrollo de nuevas moléculas y medicamentos incrementa de manera sustancial la inversión en investigación y desarrollo (I+D), sin que se garantice en medicinas realmente innovadoras, en consecuencia, en lugar de invertir en I+D, es mejor comprar a sus competidores y el segmento de mercado que comparten. En 2004, estas estrategias implicaron que las diez principales farmacéuticas controlaran sesenta por ciento del mercado (Sasson, 2005).

Para el 2012, seis empresas concentraron 58 por ciento del mercado mundial de fármacos (ver *Gráfica 1*).

Esta centralización de la industria farmacéutica le confiere un poder que le permite direccionar la oferta y consumo de medicamentos en sintonía con sus intereses corporativos. En efecto, el modelo de negocios dominante en el sector farmacéutico está basado en la promoción masiva de medicinas que a menudo no representan ningún avance terapéutico significativo. Es por eso que la investigación clínica se enfoca como una campaña de mercadotecnia, los datos obtenidos de la investigación clínica son utilizados principalmente para impulsar y apoyar las ventas, en lugar de mejorar

GRÁFICA 1. SEIS PRINCIPALES EMPRESAS FARMACÉUTICAS



Fuente: Zhong, 2012.

la prescripción por parte de los médicos (Gagnon, 2012).

A pesar de este proceder de la industria farmacéutica, la aceptación social de la biotecnología médica es alta, ya sea en países industrializados o en los que están en desarrollo, porque para la mayoría de las personas el cuidado médico es una prioridad y cualquier elemento que lo mejore es bienvenido. Ello no obsta para reconocer que se presentan aspectos éticos cuando está de por medio el uso de información genética que puede ser

utilizada para discriminar a las personas –por ejemplo, para otorgar un empleo o asignar una póliza de seguro médico o de vida– dado que su propensión a enfermedades difiere entre ellas; también preocupa la clonación de humanos o los xenotransplantes (Sasson, 2005).⁴

Otra fuente de preocupación son los productos biofarmacéuticos que se derivan de plantas o animales genéticamente modificados.

Bioteología Agrícola

Para comprender el surgimiento de la biotecnología agrícola es necesario, primero, plantear la manera en que se da la relación agricultura-industria. Las actividades agrícolas dependen tanto de un proceso de trabajo como de un proceso biológico, es decir, para lograr la producción, ya sea agrícola o ganadera, no sólo se requiere de recursos como mano de obra, tierra, agua e insumos, entre otros, sino que también es preciso aguardar el desarrollo de un proceso biológico –que puede durar meses o incluso años–, ya sea que se trate de plantas, árboles o de animales. En cambio, en las actividades industriales para el proceso productivo no se depende de un proceso biológico. Desde el punto de vista económico, este hecho se convierte en un

⁴ Un xenotransplante es un transplante de un órgano o de un tejido desde un animal a otro de distinta especie mediante manipulación genética. Muchos científicos creen que puede ser la solución para acabar con la dramática escasez de órganos donantes, y que el cerdo será la fuente de órganos sólidos y más adecuados para el ser humano. Sin embargo, aún hay muchos impedimentos científicos y éticos al respecto.

obstáculo en el ritmo de recuperación de la inversión de capital; por ello, para el crecimiento económico se ha tratado de lograr el control de las variables naturales a fin de “convertir” cada vez más el proceso agrícola en un proceso de tipo industrial.

Este propósito se ha conseguido mediante dos mecanismos: en primer término, la incorporación de tecnología o, en segundo, la sustitución. El primero consiste en proveer a la actividad primaria con insumos de origen industrial como pueden ser fertilizantes, plaguicidas, herbicidas, etcétera; el segundo se refiere al remplazo de productos naturales por bienes industriales, el caso típico es la sustitución de las fibras textiles de algodón por fibras sintéticas (Goodman, Sorj, y Wilkinson, 1987). Es así que la biotecnología moderna viene a contribuir con la transformación del proceso agrícola en industrial, porque se está en posibilidad de interferir en la estructura de las semillas y plantas y, por ende, en los cultivos.

Históricamente, la producción de alimentos y materias primas ha pasado por diferentes fases que van desde un modelo extensivo del uso de los recursos, a un modelo de tipo intensivo. Para Philip McMichael, el concepto de régimen alimentario permite conocer la estructura de producción y consumo de alimentos a través de distintos periodos históricos (McMichael, 2012). El presente régimen alimentario se caracteriza por la existencia de bloques económicos de comercio; políticas de liberalización de mercados; las ventajas son de tipo económico y tecnológico y ya no de orden

natural como antaño; los productores van perdiendo independencia sobre qué, cómo, cuándo y dónde producir; las regulaciones multinacionales de tipo global suplantando a las políticas agrícolas nacionales; se pasa, entonces, de la integración vertical a la conformación de redes por parte de las empresas alimentarias.

Es dentro de este contexto que la biotecnología moderna aplicada a la agricultura surge como una herramienta acorde con los intereses de los actores sociales implicados en el sistema alimentario mundial.

Los cultivos transgénicos

Los cultivos transgénicos se diferencian de los convencionales por tres aspectos:

1. La transferencia de un gen específico y no de todo el genoma.
2. La posibilidad de transferir cualquier gen, indistintamente de que éste sea de la misma especie o no y;
3. La reducción de los tiempos en la obtención de una nueva variedad o una raza pura una vez que se tenga identificado el gen de interés (Villalobos, 2008: 5).

El mejoramiento genético de plantas y animales, por parte del hombre, se inició como un proceso de selección de aquellas especies que por sus características ofrecieron ventajas para el consumo como alimento o materia prima y fue así que se buscó acelerar el proceso evolutivo natural. En el mejoramiento genético convencional se realiza el cruzamiento entre las especies con el fin de obtener la propiedad deseada, ello implica cruzar

los genomas completos de la planta o del animal; por su parte, en el mejoramiento genético mediante la biotecnología moderna lo que se transfiere es el gen de interés que contiene el rasgo buscado con lo cual se acelera el proceso. Además, como a nivel del ADN no hay diferencias, la transgenia puede hacerse entre especies distintas. Como afirma el biotecnólogo Víctor Villalobos “[...] y de esta forma, superar las barreras establecidas por la naturaleza, creando con su aplicación nuevas combinaciones genéticas, cuya expresión le confiere al individuo transformado transgénico, nuevas habilidades que no tenía de origen” (Villalobos, 2008: 9).

Este potencial de la biotecnología moderna es justamente la que ha creado mayor controversia, debido a que se están generando en los seres vivos habilidades novedosas que ellos no hubiesen podido adquirir en condiciones naturales, con lo cual surge la incertidumbre de cuáles pueden ser sus consecuencias a largo plazo, sobre todo porque en la actualidad es posible transferir más de un gen –lo cual se conoce como genes apilados– es decir, se transfiere más de un rasgo a los nuevos individuos.

El desarrollo de los cultivos transgénicos ha pasado por diferentes etapas. La primera generación de cultivos transgénicos estuvo referida a rasgos específicos de interés para la práctica agrícola, tales como resistencia a insectos, a virus y herbicidas o, como ya mencionamos, genes apilados que confieren la resistencia a herbicidas e insectos al mismo tiempo. A la segunda generación de cultivos transgénicos se le añadieron mejoras

relacionadas con los nutrientes, por ejemplo, el llamado arroz dorado que tiene un contenido mayor de vitamina A, o el tomate con mayor cantidad de licopeno, a este tipo de innovaciones también se les llama nutraceuticos. Finalmente, la tercera generación de cultivos transgénicos ha sido adicionada de proteínas heterólogas, proteínas que naturalmente no pertenecen a las plantas, con miras a aplicaciones farmacéuticas, tales como proteínas virales para vacunas, hormonas humanas, anticuerpos o fragmentos de anticuerpos, etcétera. Los fármacos pueden producirse en hojas, semillas, raíces, flores y frutos, esta innovación permite que las plantas sean utilizadas como biorreactores (González y Chauvet, 2008). Para el caso de México, esta tercera generación de cultivos transgénicos es particularmente preocupante debido a que el maíz es la planta que más se ha empleado como biorreactor y para la población mexicana constituye el alimento base de su dieta (Ver *Recuadro 1*).

La producción de cultivos transgénicos está concentrada en cinco empresas transnacionales: Monsanto, Bayer, Dow, DuPont y Syngenta, que para el 2013 controlaban el 60 por ciento del mercado de semillas y, junto con la firma BASF, el 76 por ciento del mercado global de agroquímicos (GRAIN, 2013).

Estas empresas tienen su origen en la industria química, farmacéutica y en la de alimentos, se distinguen por un proceso de fusiones, adquisiciones y alianzas realizados desde finales de los años ochenta hasta la fecha. Monsanto se destaca por la adquisición de un gran

número de compañías de producción de semillas y de biotecnología, y ocupa el primer lugar en generación de cultivos transgénicos en el mundo. Por su parte, Novartis, nacida en 1996 de la fusión de las empresas suizas Sandoz y Ciba Geigy, se unificó a su vez en diciembre de 1999 con AstraZeneca, empresa anglo-sueca, para formar Syngenta (Morales, 2001).

Este oligopolio de empresas biotecnológicas ha desarrollado un mercado internacional muy poderoso y lucrativo a través de la venta de estos productos en todo el mundo, así como del cobro de regalías por el derecho de propiedad de los mismos. La forma en que se distribuyen las ganancias es parte importante del debate en torno de la discusión de los transgénicos, ya sea en el contexto nacional como en el internacional, puesto que se argumenta que las grandes corporaciones transnacionales líderes en biotecnología retienen una importante proporción de los beneficios sin compartir de manera equitativa los posibles riesgos (Morales, 2001; Villalobos, 2008).

La repercusión social de este hecho es que la producción de alimentos a nivel mundial se está colocando en un número muy pequeño de empresas, lo cual le imprime una alta vulnerabilidad a la seguridad y soberanía alimentaria, dado que el sector privado busca intereses comerciales que no siempre coinciden con las necesidades sociales.

En 2012 se cultivó un récord de 170.3 millones de hectáreas de transgénicos, a una tasa anual de crecimiento del 6 por ciento, o sea 10.3 millones más que las

160 millones de hectáreas cultivadas en 2011. Ese año marcó un crecimiento de cien veces en el área sembrada con cultivos GM, desde las 1.7 millones de hectáreas en 1996 hasta las 170 millones de hectáreas en 2012 (James, 2013). En el *Cuadro 1* se especifican los países y los cultivos transgénicos que siembran.

CUADRO 1. ÁREA GLOBAL DE CULTIVOS TRANSGÉNICOS EN 2014: POR PAÍS (MILLONES DE HECTÁREAS)**

Número	País	Área (millones ha)	Cultivos transgénicos
1	EE UU*	73.1	Maíz, soya, algodón, canola, remolacha azucarera, alfalfa, papaya y calabaza
2	Brasil*	42.2	Soya, maíz y algodón
3	Argentina*	24.3	Soya, maíz y algodón
4	India*	11.6	Algodón
5	Canadá*	11.6	Canola, maíz, soya y remolacha azucarera
6	China*	3.9	Algodón, papaya, álamo, tomate y pimiento morrón
7	Paraguay*	3.9	Soya, maíz y algodón
8	Pakistán*	2.9	Algodón
9	Sud África*	2.7	Maíz, soya y algodón
10	Uruguay*	1.6	Soya y maíz
11	Bolivia*	1.0	Soya
12	Filipinas*	0.8	Maíz
13	Australia*	0.5	Algodón y canola
14	Burkina Faso*	0.5	Algodón

Número	País	Área (millones ha)	Cultivos transgénicos
15	Myanmar*	0.3	Algodón
16	México*	0.2	Algodón y soya
17	España*	0.1	Maíz
18	Colombia *	0.1	Maíz y algodón
19	Sudán*	0.1	Algodón
20	Honduras	<0.05	Maíz
21	Chile	<0.05	Maíz, soya y canola
22	Portugal	<0.05	Maíz
23	Cuba	<0.05	Maíz
24	Rep. Checa	<0.05	Maíz
25	Rumania	<0.05	Maíz
26	Slovaquia	<0.05	Maíz
27	Costa Rica	<0.05	Algodón y soya
28	Bangladesh	<0.05	Berenjena
	Total	181.5	
*19 países megaproduktores cultivaron 50 000 hectáreas, o más, de los cultivos transgénicos ** Redondean al próximo cien mil			

Fuente: James, 2014

Bioteología agrícola y seguridad alimentaria

La aplicación de la bioteología en la agricultura y la ganadería ofreció altas expectativas en la década de los ochenta; de hecho, se hablaba de la revolución genética que venía a sustituir al proceso de modernización de la agricultura conocido con el nombre de Revolución Verde.

En efecto, éste consistió –en los años cincuenta– en incrementos notables de productividad mediante el paquete tecnológico constituido por semillas de alto rendimiento de maíz, trigo, arroz y sorgo, que se lograron ya sea por mejoramiento genético convencional o por el uso de insumos químicos tales como fertilizantes, plaguicidas, herbicidas y maquinaria, todo ello en superficies que contaran con riego, conformando así el modelo intensivo de producción. Antes de la Revolución Verde, el incremento de cultivos respondía principalmente a la expansión de la superficie cultivada, es decir, mediante el modelo extensivo. La cuna de estas innovaciones fue México, con la participación del patólogo vegetal estadounidense Norman Borlaug, quien recibió el Premio Nobel de La Paz en 1970 por sus descubrimientos.

Al inicio de los años ochenta se pensaba que la biotecnología aplicada a la agricultura llevaría a una nueva era de abundancia agrícola con un mínimo daño al ambiente, debido a las potenciales modificaciones conferidas a las plantas, tales como: resistencia a sequía y salinidad; capacidad para fijar el nitrógeno del aire; resistencia a insectos y a herbicidas; mayor vida de anaquel, etcétera. No obstante, veinte años después de la primera liberación comercial de plantas genéticamente modificadas los aportes son más modestos, los rasgos comúnmente introducidos en los cultivos son la tolerancia a virus, tolerancia a herbicidas, resistencia a insectos o el poder conferir a una misma semilla, mediante genes apilados, ambas características de

éstos. A continuación se detallan cada uno de dichos atributos.

En los campos de cultivo crecen yerbas y otras plantas que compiten por luz, agua y nutrientes, las cuales pueden reducir su rendimiento y atraer plagas. Hay diversas formas de controlarlas utilizando maquinaria, agroquímicos o desyerbe manual, lo que incrementa el costo de producción. Desde la década de los noventa hay variedades transgénicas de soya, algodón y maíz, entre otras, que tienen la capacidad de degradar uno o varios tipos de herbicidas, de modo que al aplicarlo durante el proceso productivo, se eliminan las malezas sin afectar al cultivo en crecimiento. Los herbicidas aplicados en cantidades adecuadas no afectan a otros organismos y se degradan en el suelo (AgroBio, s/f).

Como ya se mencionó, son cinco las empresas que comercializan las semillas transgénicas y en función del atributo conferido a éstas, serán los productos asociados; por ejemplo, en el caso de resistencia a herbicidas las compañías ofrecen el paquete de la semilla y también del herbicida que ésta degrada. El origen de algunas de estas firmas biotecnológicas es el sector de agroquímicos, así que con la biotecnología agrícola han reforzado y ampliado su mercado de insumos para la agricultura.

Las plantas transgénicas resistentes a insectos y disponibles en el mercado, contienen una versión de la toxina de *Bacillus thuringiensis* (Bt), que se encuentra de manera natural en las bacterias del suelo. Ésta es altamente efectiva para muchas plagas, como lepidópteros,

pero no es tóxica para los mamíferos y tampoco para la mayoría de los organismos no objetivo. El *Bt* se ha utilizado desde hace muchos años en la agricultura orgánica o como parte del manejo integrado de plagas en la agricultura convencional. Mediante la ingeniería genética ha sido posible introducir información genética para producir dicha toxina en las semillas, lograr la resistencia a insectos, y dejar de realizar aplicaciones de plaguicidas en los cultivos.

La tolerancia a virus se confiere por medio de un gen tomado de un virus. Las plantas que producen ciertas proteínas virales son capaces de defenderse de las infecciones por los virus de la que se tomaron las proteínas. Dos cultivos están aprobados para su uso comercial: papaya y calabaza. La primera se desarrolló en Hawai y se vende en el mercado estadounidense; sin embargo, la calabaza aún no está a la venta.

En 1994 se aprobó para su producción y consumo el primer alimento genéticamente modificado (GM) fue el tomate *Flavr Savr*, creado por la compañía de biotecnología Calgene, con sede en California. El *Flavr Savr* no era en sentido riguroso un organismo transgénico, es decir, que no tenía material genético añadido de otra especie de planta o animal. Más bien, la manipulación genética del tomate retrasaba el proceso de maduración del fruto, que a su vez permitía que el tomate *Flavr Savr* fuera cosechado en una etapa relativamente tardía en el desarrollo del tomate. Sin embargo, este primer alimento alterado genéticamente fue un fracaso debido a una serie de dificultades técnicas y

de precios. Se presentaron problemas de transporte, no sabía mejor que los tomates “convencionales” y costaba dos o tres veces más. Por estas razones se retiró en forma silenciosa del mercado poco después de hacer su aparición (Nicholson, 2009).

En diciembre de 2011, el maíz tolerante a la sequía –MON 87460, cuyo nombre comercial es *DroughtGard®*– de la compañía Monsanto, fue autorizado para su siembra comercial en los Estados Unidos. Este maíz tiene un desempeño adecuado cuando se trata de una sequía moderada (USDA, 2011). Las compañías Pioneer y Syngenta ya cuentan con semillas híbridas de maíz no transgénicas resistentes a la sequía; sin embargo, al igual que Monsanto están interesadas en obtener semillas transgénicas de maíz con esta característica, dado que es un atractivo mercado por sus millonarias ventas y con estas semillas planean cubrir el déficit de producción que son consecuencia de las severas sequías y el desvío de la producción de maíz hacia los biocombustibles. No obstante, se han puesto muchas expectativas en un maíz de esta naturaleza que ciertamente podría ser útil en pequeñas áreas, pero es difícil pensar que resuelva el problema de afrontar la sequía de manera generalizada debido a que ésta involucra a todo el genoma, lo que es muy diferente a transferir la resistencia a herbicidas que consiste en insertar un solo gen (Tollefson, 2011).

Actualmente, las plantas que han sido genéticamente modificadas y que ya se comercializan de manera generalizada son cuatro: algodón, soya, maíz y canola, las

cuales presentan los atributos de resistencia a insectos, tolerancia a herbicidas o ambos. Estos cultivos se destinan a uso comercial. El motivo por el que las empresas biotecnológicas decidieron seleccionar estos bienes para su modificación genética responde al hecho de que se trata de cultivos de alto valor comercial, que son parte de las materias primas que la industria alimentaria emplea para elaborar los alimentos procesados. Cabe destacar que esta primera generación de transgénicos ha proporcionado beneficios a sectores productivos y no al consumidor.

Se calcula que cerca del 80 por ciento de los productos alimenticios que ofrecen los supermercados tiene algún componente derivado de alguno de esos cuatro cultivos. Por ejemplo, la soya y el maíz son la base de la alimentación de reses, aves y cerdos para la producción de proteína animal. Conforme se incrementa la superficie de cultivos genéticamente modificados, aumenta la probabilidad de que los alimentos contengan ingredientes con ese origen.

Las empresas biotecnológicas sostienen que los alimentos genéticamente modificados no sólo son seguros, sino fundamentales para alimentar a una población cada vez mayor, mediante el aumento de los rendimientos de los cultivos y, además, con la reducción del uso de insumos químicos. En ese sentido, la industria biotecnológica considera que puede contribuir a alcanzar la seguridad alimentaria al brindar un incremento de los volúmenes de alimentos, de manera amigable con el medio ambiente. Pero esto, como se verá más adelante, es un tema debatible.

La principal característica que busca el agricultor comercial en su semilla es el rendimiento, o sea la obtención de más producto por unidad de superficie empleada y se mide en toneladas métricas por hectárea. Las semillas híbridas desarrolladas por la Revolución Verde lograron aumentarlo y ahora, con la revolución genética, los productores demandan obtener resultados aún mayores. Sin embargo, los cultivos genéticamente modificados hasta ahora no ofrecen un incremento en los rendimientos, esto se debe a que la productividad del cultivo depende de muchas variables y no puede pensarse que con modificar la genética o un gen, sería suficiente para conseguir más toneladas por hectárea.

La ingeniería genética tiene límites: la capacidad física de transformación que se restringe al movimiento de un solo gen o a un reducido número de ellos. Muchos caracteres relevantes para la agricultura son multigénicos, como es el caso del rendimiento, si bien la biotecnología cuenta con los mecanismos para apilar genes, no ha sido posible lograr la incidencia en el aumento del rendimiento (Villalobos, 2008).

Para la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO),⁵ la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana (FAO, 2011).

De los componentes de la definición de seguridad alimentaria destaca el que se refiere al acceso. En efecto, se requiere tomar en cuenta que el problema del hambre hoy en día no responde a una falta de alimentos, sino a la imposibilidad de tener acceso a ellos, los alimentos procesados tienen un mayor precio que, por desventura, amplias capas de la población no pueden pagar. Los productos derivados de la biotecnología no necesariamente son accesibles a la población que hoy en día sufre de pobreza alimentaria debido a que su producción se enfoca hacia bienes de alto valor agregado, como es la proteína de origen animal; en ese sentido, resulta débil el argumento de que la biotecnología agrícola es la solución al problema de hambre en el mundo. La investigación y el desarrollo se han dirigido hacia la producción agrícola de gran volumen y no ha sido rentable el mejoramiento de cultivos considerados de pequeña escala. Los cultivos tradicionales no presentan un atractivo comercial para las grandes empresas biotecnológicas (Villalobos, 2008).

Desde la década de los noventa se ha sustentado un fuerte debate en cuanto a las aportaciones de la biotecnología agrícola en el tema de la seguridad alimentaria, en la Tabla 3 se presentan los argumentos centrales de la discusión.

TABLA 3. CONTRIBUCIÓN DE LA AGROBIOTECNOLOGÍA
 A LA SEGURIDAD ALIMENTARIA

Componentes de la seguridad alimentaria	Argumentos de los proponentes de la biotecnología agrícola	Críticas de los oponentes de la biotecnología agrícola
Disponibilidad: ¿Hay suficiente alimento a través de la producción o de importaciones para satisfacer las necesidades inmediatas? ¿Es la producción ambientalmente sostenible para satisfacer demandas a largo plazo? ¿La distribución es eficiente para llegar a los niveles de bajos ingresos y a las comunidades rurales?	La biotecnología agrícola representa una nueva Revolución Verde. Promesas: • Aumento de los rendimientos. • Cultivos adaptados a diferentes condiciones: resistencia a la sequía, etcétera. Disminución en el uso de productos agroquímicos.	La Revolución Verde tuvo resultados mixtos. Actualmente sólo están disponibles las características agronómicas (resistencia a herbicidas y a insectos) El aumento de los rendimientos y la capacidad de adaptación siguen siendo promesas Inicialmente disminuyó el uso de agroquímicos, pero ahora han aumentado y los cultivos se han hecho resistentes, surgen “súper malezas”. La biodiversidad, los cultivos y variedades locales han sido dañados.
Accesibilidad: ¿Las personas vulnerables tienen el poder adquisitivo para lograr la seguridad alimentaria? ¿Pueden acceder a una dieta básica mínima de 2100 calorías por día que es el requerimiento para una vida activa y productiva?	El aumento de los rendimientos dará lugar a precios más bajos.	No tiene en cuenta la desigualdad. El control corporativo aumenta el costo de las semillas. Los agricultores no pueden guardar las semillas. Los pequeños agricultores no pueden pagar la tecnología.

Adecuación: ¿El suministro de alimentos es adecuado para las diferentes necesidades nutricionales, es decir, se cuenta con una dieta equilibrada con variedad de alimentos en todo momento? ¿La comida está adecuadamente procesada, almacenada y preparada?	Cultivos nutricionalmente mejorados que satisfagan las necesidades nutricionales de los pobres en los países en desarrollo, por ejemplo, el arroz dorado.	Las mejoras nutricionales no se han cumplido. No se tiene en cuenta la necesidad de una dieta más equilibrada y tampoco, las barreras socioeconómicas para que los pobres tengan acceso a dietas más adecuadas.
---	--	---

Fuente: Dibden, Gibbs , y Chris, 2013: 52.

Considerar que los avances de la biotecnología pueden contribuir a la reducción del hambre es un enfoque reduccionista porque se considera a ésta, como un problema técnico que debe ser resuelto por mecanismos técnicos (Nicholson, 2008) y si vemos con detenimiento los componentes de la seguridad alimentaria que se señalan en la primera columna de la Tabla 5, es posible darse cuenta que se refieren a factores que no son técnicos, sino que involucran decisiones de carácter político, económico y social.

La inseguridad alimentaria es crónica y no está relacionada ni con aspectos técnicos, ni con los desastres naturales. La gente ha pasado hambre en los últimos años, a pesar del hecho de que tenemos un sistema alimentario que produce alrededor de dos libras de grano por persona cada día, las que equivalen a tres mil

kilocalorías de alimentos para cada individuo en el planeta, más que suficiente para satisfacer las necesidades energéticas de cada individuo, incluso antes de tomar en cuenta todos los frutos secos, frutas, y verduras que también se cosechan (Nicholson, 2008). Los siniestros provocados por las fuerzas de la naturaleza tampoco son la causa de la vulnerabilidad alimentaria, como se piensa; la pobreza y la malnutrición, sí lo son; en 2004, sólo ocho por ciento de las muertes por hambre en el mundo fueron a causa de emergencias humanitarias; el otro 92 por ciento se asoció con hambre y desnutrición crónica o recurrente (Barret, 2010).

Otras aplicaciones de la agrobiotecnología

Cabe recordar que las elecciones tecnológicas responden a intereses y, políticas específicas y en el caso de la biotecnología aplicada a la agricultura, sus desarrollos en el cultivo del maíz se perfilan hacia la producción de biocombustibles o de plásticos biodegradables. La biotecnología de tercera generación, como ya se dijo, busca mediante el uso de las plantas como biorreactores obtener productos como nutraceuticos, medicinas, plásticos, etcétera.

Esta innovación ofrece beneficios para unos y riesgos para otros, tal como se explica en el *Recuadro 1*.

RECUADRO 1. CULTIVOS BIOFARMACÉUTICOS

Y SU POSIBLE RIESGO

MARÍA AMANDA GÁLVEZ MARISCAL - ROSA LUZ GONZÁLEZ

Los cultivos biofarmacéuticos son plantas modificadas genéticamente con las que se busca conseguir sustancias con propiedades terapéuticas, como proteínas virales para vacunas, hormonas, anticuerpos o fragmentos de anticuerpos, entre otros (Ellstrand 2003a; Gómez 2001; Ma *et al.*, 2003). Las primeras proteínas farmacéuticas recombinantes derivadas de plantas fueron la hormona humana de crecimiento expresada en el tabaco en 1986 (Barta *et al.*, 1986) y la seroalbúmina humana también en este cultivo y en plantas de papa en 1990 (Ma *et al.*, 2005). Veinte años después se empezaron a comercializar los primeros fármacos producidos con plantas transgénicas. De esta forma se expresan de manera experimental muchas proteínas terapéuticas como anticuerpos, derivados de sangre, citocinas, factores de crecimiento, hormonas, enzimas recombinantes, así como vacunas humanas y veterinarias (Twyman *et al.*, 2005). Aunque en algunos casos se emplean cultivos celulares –de plantas, insectos, animales o microorganismos– para expresar estas moléculas, en otros se utilizan plantas completas de alfalfa, lechuga, espinaca, tabaco y maíz en cultivos confinados o a campo abierto, este último es el que tiene menores costos. Con el tiempo, la tecnología ha mejorado la expresión y el rendimiento, al usar nuevos promotores, al estabilizar la proteína en los diferentes compartimientos celulares, y al optimizar el procesamiento *down stream*, lo que ha contribuido a mejorar la factibilidad económica de esta aplicación (Ko y Koprowski, 2005, Stewart y Knight, 2005). Entre todos estos sistemas, la expresión en semillas ha resultado de enorme utilidad para acumular proteínas en un volumen relativamente pequeño, pues no se degradan porque el endospermo conserva las proteínas sin necesidad de bajas temperaturas, lo que da una gran ventaja para la producción, por ejemplo, de vacunas orales (Han *et al.*, 2006). En el caso de los cereales, el maíz, el arroz y la cebada resultaron ser alternativas interesantes, aunque el maíz tiene el mayor rendimiento anual, un contenido proteínico en la semilla moderadamente alto y su ciclo de cultivo es más corto, lo que en conjunto le da mayor rendimiento potencial de proteína por hectárea (Stoger *et al.*, 2005). Aunque los desarrolladores reconocen que el maíz tiene la desventaja de que es una planta de polinización cruzada, ningún otro cereal alcanza su rendimiento. (Stoger *et al.*, 2005), por lo que es el sistema de expresión más utilizado y ocupa más de 70 por ciento de los permisos concedidos por APHIS entre 1991 y 2004 (Elbeheri, 2005). Estos criterios económicos, de factibilidad técnica y la percepción del maíz como materia prima industrial son los que han permitido que este cultivo sea el más utilizado y resulte ventajoso para unos cuantos

agricultores, que puedan obtener ganancias mayúsculas de sus campos; pero las desventajas y peligros potenciales no son democráticos porque estas decisiones no consideran los riesgos para los millones de personas que basan su alimentación en el maíz. ¿Cuáles serían los riesgos? El primero es que los granos que contienen el fármaco pasaran a la cadena de producción de alimentos en operaciones industriales, ya que a simple vista es imposible diferenciarlos y pueden mezclarse inadvertidamente. Debido a que ya sucedió, no se debe descartar un manejo descuidado en el procesamiento industrial: con maíz, caso Starlink en 2000, y con arroz (USDA, 2006), aunque no son biofarmacéuticos. Esto ocurrió en Estados Unidos donde supuestamente las reglas de bioseguridad están bien establecidas, pero no se cumplen de forma adecuada (USDA, 2005). Lo anterior tiene un efecto potencial en las poblaciones que consumen esos granos: en México el consumo *per cápita* varía entre 285 y 480 g diarios y llega a constituir la fuente de 40 por ciento de las proteínas por su bajo costo (Bourges, 2002; FAO, 2006). El efecto potencial puede ser desastroso si se junta con el segundo gran riesgo: que exista flujo génico. Esto no implica una mezcla física de granos, el peligro es que se libere un transgén farmacéutico y que se herede a los maíces criollos, donde pueden perdurar varias generaciones en un sistema abierto de intercambio de semilla, como sucede en México (Cleveland y Soleri, 2005). Los peligros potenciales de exposición a fármacos recombinantes por esta vía se darían en prácticamente toda la población mexicana, con un mayor acento en el segmento que produce maíz de subsistencia y semicomercial. Además, pondría en riesgo a México porque dañaría su biodiversidad. Lo anterior no sucedería en un país en el que se compra semilla cada año (Chauvet y Gálvez, 2005). Usar maíz para la producción de farmacéuticos y sustancias industriales no comestibles, que también son peligrosas para la salud, responde a una serie de decisiones en las que no estamos participando los mexicanos, pero nos afectan: son decisiones que toman empresas, ciudadanos y políticos de países más desarrollados tecnológicamente, donde el cabileo se dirige a prohibir que estas prácticas se hagan con animales porque la opinión pública —que en estos países a menudo es un impulsor de cambios regulatorios— los considera más parecidos a los humanos, aunque su control sea más fácil (National Research Council, 2002) y se hayan usado durante mucho tiempo para la producción de vacunas y sueros, anticuerpos, etc. Lo anterior, entre otras cosas, ha privilegiado en todo el mundo la producción con plantas, que además resulta más barata. Si bien se reconoce que todas las tecnologías acarrearán riesgos, los riesgos no son cosas, son construcciones sociales en las que el saber experto, pero también los valores y símbolos culturales desempeñan un papel clave (Beck, 2004). En el caso del maíz biofarmacéutico es evidente que la participación pública y los grupos de interés de países menos desarrollados, como México, son ajenos a este proceso de toma de decisiones tecnológicas en el mundo (McMeekin *et al.*, 2004). Los consorcios y sus expertos argumentan que no hay riesgos claros o comprobables en estos cultivos. Sin embargo, el hecho de que las empresas aseguradoras no participen en el negocio de la biotecnología, se

debe a que saldrían perdiendo, porque sí existen peligros, y no podrían asegurar estos cultivos con pólizas baratas (Beck, 2004). Si se contamina la cadena alimentaria con granos de maíz farmacéuticos, se dañaría la alimentación de cien millones de mexicanos. Si se contamina por flujo génico el maíz en México, no sería fácil eliminarla y afectaría a 60 por ciento de las unidades productivas no comerciales y semicomerciales del país, es decir, la producción de autoconsumo en México, que utiliza 33 por ciento del área sembrada de maíz y representa 37 por ciento de la producción nacional de grano (Brush y Chauvet, 2004; Nadal, 2000). Esto afectaría directamente la inocuidad de la base alimentaria de millones de mexicanos, sin mencionar el daño a la megadiversidad en un centro de origen. Aunque existen métodos de contención biológica de los transgenes como la transformación de cloroplastos que se hereda por vía materna (Daniell *et al*, 2005), la inducción de la expresión con sustancias que deban adicionarse al cultivo (Han *et al*, 2006), así como sistemas de contención genética (Mascia y Flavell, 2004), la solución de raíz para esta controversia es que no se utilicen cultivos de alimentos para la expresión de fármacos y sustancias no comestibles (Nature Biotechnology, 2004). ¿Qué opinaría la población en Japón o en Estados Unidos si en lugar del maíz se usara arroz o trigo, ya que el pan o el arroz cocinado en sus diferentes formas son productos fundamentales en su dieta? (Kleinman *et al*, 2005). Los volúmenes de maíz que moviliza la industria alimentaria y el valor agregado de sus productos industrializados son mucho mayores que el mercado de los farmacéuticos; además de que la población afectada en caso de un escape de transgenes farmacéuticos vía la alimentación sería mayor que la beneficiada con un fármaco de bajo precio producido con maíz, siempre y cuando el precio realmente fuera barato. Es bien sabido que una parte del precio de los medicamentos se dedica sobre todo a gastos corporativos, a la recuperación del costo de investigación y desarrollo, así como en publicidad, y patentar implica un derecho de uso exclusivo que permite establecer precios que tienen un amplio margen de ganancia. Por otro lado, los cultivos farmacéuticos no están claramente tipificados en la legislación mexicana, y hoy por hoy no existe una técnica jurídica que prevea este tipo de investigaciones y que logre emparejarse a la velocidad con que se generan nuevas biotecnologías. Redireccionar un campo tecnológico como los cultivos biofarmacéuticos hacia objetivos de mayor beneficio social constituye una tarea urgente que requiere solidaridad global, una política oportuna enmarcada en derechos humanos que no espere a que suceda la primera desgracia en la población mexicana por ser la mayor consumidora de maíz.

Fuente: Gálvez y González, 2009: 331-332

Estas aplicaciones de la biotecnología dirigidas a productos industriales tienen el inconveniente de que compiten por el uso de recursos: tierra, agua, capital, etcétera, y por ello afectan la seguridad alimentaria global. Éste es el caso del uso de las plantas para la producción de biocombustibles.

En efecto, ya es posible mediante la ingeniería genética la transformación de especies agroindustriales como caña de azúcar, maíz, yuca, palma africana, higuera, remolacha azucarera para otorgarles mayor capacidad de fermentación dirigida a la producción de bioenergéticos como bioetanol y biodiesel (Villalobos, 2008).⁶

Es un hecho que la producción de petróleo está enfrentando límites y por ende, adquiere carácter de urgencia la búsqueda de nuevas fuentes de energía. Las implicaciones ambientales, sociales, económicas y políticas de la producción de biocombustibles mediante el uso de plantas serán diferentes dependiendo de que: *a*) el cultivo utilizado sea alimenticio o no; *b*) de las características del suelo; *c*) de que el producto que se elabore sea etanol, biodiesel o biogás; *d*) del procesamiento industrial que se emplee, dado que el balance energético no necesariamente es concluyente con respecto del hecho de que los biocombustibles contaminen menos el ambiente y, *e*) las capacidades técnicas y de negociación

⁶ Los biocombustibles provienen de la transformación de la biomasa, que se refiere a la materia orgánica que puede ser utilizada para la producción de energía. El bioetanol se obtiene de la caña de azúcar, de la remolacha o del maíz, y el biodiesel se obtiene de diversos aceites vegetales como soya, palma africana, y jatropha, entre otros.

con que cuenten los actores involucrados (Chauvet y González, 2013a).

Biotechnología Animal

Si la biotecnología aplicada a la agricultura ha generado controversias e incertidumbres, el caso de la biotecnología animal despierta más inquietudes por las implicaciones que acarrea el hecho de que los animales cuentan con movilidad, en el caso de las plantas se puede decir, en un sentido amplio, que también lo hacen, si pensamos en el esparcimiento del polen por el viento, pero en estricto sentido carecen de movilidad por sí mismas.

El primer desarrollo de la biotecnología moderna en animales estuvo relacionado con la producción –por medio de las técnicas de ingeniería genética– de la hormona de crecimiento somatotropina del ganado bovino para la producción de leche. Se le conoce con el nombre de rBST (somatotropina recombinante del ganado bovino); con ello se buscó intensificar la producción lechera, dado que el aumento en la producción de leche por vaca ahora es de diez a quince por ciento. En el capítulo III se profundiza sobre la manera en que actúa y los resultados obtenidos para México.

Esta hormona se emplea también en la producción de peces, la especie más reciente a la que se le ha aplicado la hormona es el salmón y la aprobación –en diciembre de 2012– para su explotación a nivel comercial tuvo sus reparos en el hecho de que si bien el tamaño de los

salmones es mayor, la conducta de éstos se altera y se convierten en peces agresivos.

El trasplante de embriones se practica desde los años setenta, y consiste en que a un vientre de calidad genética promedio que esté biológicamente receptivo, se le trasplanta, sin requerir cirugía, un embrión de una hembra de alta calidad genética, de esa manera, la cría o crías adquieren ese alto valor genético sin necesidad de que la hembra de buena genética desarrolle todo el proceso de gestación hasta llegar al parto, pues para eso está la hembra receptora. Esta técnica se ha empleado en la mayoría de los animales domésticos o silvestres en peligro de extinción. La aplicación de la biotecnología permite, mediante las técnicas de la ingeniería genética, que ese embrión antes de ser trasplantado pueda ser manipulado para que sea hembra o macho, en función del objetivo buscado, por ejemplo: en el ganado bovino, el implante de un embrión hembra si se trata de producción lechera o de un macho, si se busca la producción de carne.

La clonación de animales también es una de las herramientas para acortar o eliminar el intervalo generacional, la bipartición de embriones genera animales idénticos, el caso más publicitado fue el de la oveja Dolly, que en 1996 tuvo la particularidad de que se clonara de una célula mamaria y no de una célula embrionaria. Este hecho causó reacciones de carácter ético, dado que abrió la posibilidad de emplear estas técnicas para clonar seres humanos. Las reacciones en Estados Unidos y en los países europeos fueron de no apoyar investigaciones que fueran en esta línea.

Así como se comentó en el caso de la biotecnología vegetal, los animales pueden ser utilizados como biorreactores con el fin de obtener algunos fármacos o manipulados genéticamente para que no sean transmisores de enfermedades, tal es el caso de los mosquitos con el fin de interrumpir el ciclo de vida de virus y parásitos, por ejemplo, su empleo se ha pensado para combatir la malaria. También los animales genéticamente manipulados pueden modificar la composición de sus productos, por ejemplo: cabras transgénicas para una producción mayor de proteínas en la leche.

No obstante, son múltiples las preocupaciones, de manera tal que en el 2002 la Academia Norteamericana de Ciencias realizó un estudio de los potenciales riesgos que pueden llegar a presentarse por la aplicación de la ingeniería genética en las diferentes especies de animales.

Un primer nivel de preocupación surge de las técnicas en sí mismas, dado los grados de incertidumbre en cuanto a varios aspectos: primero, la variabilidad de copias, hasta ahora las técnicas son ineficientes por el alto índice de mortandad. En el caso de la oveja Dolly se manipularon 277 ejemplares, para sólo obtener el clon de una oveja; la mortandad de animales empleados en los experimentos es del ochenta al noventa por ciento y en ocasiones los sobrevivientes no tienen el gen que se pretendía transmitir, es decir, se logra un bajo éxito en la integración de DNA exógeno. Segundo, la estabilidad de los transgenes y de los sitios de integración aleatorios del gen, lo cual es preocupante debido a la

bioactividad, por ejemplo, que la proteína se inserte en el tejido mamario y ésta se pase a la circulación general. Tercero, que las tecnologías empleadas podrían representar daños a la salud animal o a su bienestar.

En cuanto a la seguridad alimentaria, generan inquietud los alimentos o productos de la biotecnología animal, sea que provengan de animales GM o clones, ya que pueden considerarse sustancialmente diferentes de los convencionales y, por tanto, desconocerse las consecuencias que puedan tener en la alimentación humana.

El impacto ambiental es otro elemento de preocupación, por si las tecnologías empleadas pudieran ser un riesgo para el ambiente, debido a la transferencia horizontal a otros organismos, cambios en el rango de distribución, hospederos, huéspedes, efectos en ecosistemas, etc. Se carece de mecanismos para recuperar insectos liberados en experimentos a corto plazo, con los cuales se puede escapar el gen.

Como sexto punto, aún falta hablar del desarrollo de políticas y mecanismos de regulación sobre las aplicaciones de la biotecnología en animales, hasta ahora no se está preparado institucionalmente para hacer frente a las implicaciones que se puedan generar. Se requiere determinar elementos de análisis de riesgo, guías y lineamientos. En la Tabla núm. 6 se establecen los factores de preocupación que se tienen para las especies transformadas, donde los insectos y peces son los que implican mayores riesgos, en cambio, y conforme aumenta el tamaño de los animales, se reducen las repercusiones.

TABLA 4. FACTORES QUE CONTRIBUYEN EN EL NIVEL DE PREOCUPACIÓN EN TORNO DE ESPECIES TRANSFORMADAS

Tipo de animal	Número de citas	Capacidad de llegar a ser salvaje	Probabilidad de escape de sitio de cautiverio	Movilidad	Problemas reportados en la vida en comunidad	Nivel de preocupación
Insectos	1804	Alta	Alta	Alta	Muchos	Alto Bajo
Peces	186	Alta	Alta	Alta	Muchos	
Ratones	53	Alta	Alta	Alta	Muchos	
Ratas	-	-	-	-	-	
Gatos	160	Alta	Alta	Moderada	Muchos	
Cerdos	155	Alta	Moderada	Baja	Muchos	
Cabras	88	Alta	Moderada	Moderada	Algunos	
Caballos	93	Alta	Moderada	Alta	Pocos	
Conejos	8	Alta	Moderada	Moderada	Pocos	
Visones	16	Alta	Alta	Moderada	Ninguno	
Perros	11	Moderada	Moderada	Moderada	Pocos	
Pollos	11	Baja	Moderada	Moderada	Ninguno	
Ovejas	27	Baja	Baja	Baja	Pocos	
Ganado vacuno	16	Baja	Baja	Baja	Ninguno	

Fuente: National Academy of Science (NAS), 2002.

La Biotecnología agrícola y la privatización del conocimiento y de la vida

En páginas anteriores se trató el fenómeno del patentamiento de la vida al mencionar los desarrollos de la biotecnología en el Sector Salud, sin embargo, esta práctica también se ha extendido hacia plantas y animales,⁷ en las que se ejerce el derecho de propiedad

⁷ En 1988, la oficina de patentes de Estados Unidos otorgó la primera patente a un animal. Se le conoce como Onco Ratón. Este animal GM incorpora un oncogene que induce la transformación cancerosa de las células. Su uso es para detectar agentes o sustancias cancerosas (González, 2001; Morales y López, 2008).

intelectual. En efecto, sobre los conocimientos, ideas y pensamientos se puede establecer un derecho de propiedad aunque éstos sean intangibles. Los derechos de propiedad intelectual confieren al creador de conocimiento o de ideas la exclusividad respecto de la utilización de su obra por un determinado plazo (González, 2001; Morales y López, 2008).

El Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC) establece una serie de principios básicos sobre la propiedad industrial y la propiedad intelectual para evitar que ambos distorsionen el comercio mundial. Las áreas de la propiedad intelectual son: los derechos de autor, la propiedad industrial y los derechos de obtentor de variedades vegetales. La forma de otorgar esos derechos es mediante la patente.

Para que sea otorgada una patente se requiere cumplir con tres características: en primer término, que sea novedad, es decir, que lo que se desea patentar no haya sido publicado o utilizado públicamente; en segundo, originalidad, o sea que no sea evidente; y en tercero, que contenga una invención y resulte aplicable, en otras palabras, que se pueda utilizar. Hay una gran controversia en cuanto al patentamiento de la materia viva. Con el advenimiento de la biotecnología moderna se reforzó el sistema de derechos de propiedad intelectual y las protecciones amplias afectan a los países de menor desarrollo si quieren adaptar tecnología a variedades locales (González, 2004).

El derecho de obtentor se rige bajo el Convenio de la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), establecido en 1961, que cuenta con dos actas, la de 1978 y la de 1991. La primera es más favorable a los países con un alto porcentaje de población campesina porque asegura el derecho de los agricultores a conservar sus semillas para el siguiente ciclo agrícola y la segunda, cuenta con una cobertura más amplia y responde más a los intereses de las empresas que tienen una gran capacidad en investigación (González, 2001; Morales y López, 2008).

Después de hacer este breve recorrido por las aplicaciones de la biotecnología en diferentes ámbitos y de problematizar el papel de la ciencia y los científicos es importante reconocer que no podemos alejarnos o renunciar al desarrollo tecnológico, porque se presentan aspectos positivos que se obtienen de él y el negarse a reconocerlos no nos lleva a ninguna parte, como tampoco se obtiene un beneficio real en la aceptación acrítica de todos los desarrollos tecnológicos. Como afirma Simon Nicholson: “Cualquiera de estas opciones es negar nuestra capacidad para dar forma a nuestro futuro tecnológico”, (Nicholson, 2008: 58).

II. BIOSEGURIDAD

La sociedad del riesgo y la bioseguridad

La era actual se caracteriza por tener a la ciencia y a la tecnología como instrumentos de la competitividad, ello ha brindado grandes beneficios, pero no exentos de riesgos. En ese sentido, el sociólogo inglés Anthony Giddens, en varias de sus obras se ha abocado al estudio de la modernidad y sus consecuencias. Es de su interés analizar cómo los actores sociales emplean las nuevas tecnologías sin reparar en sus implicaciones. Los individuos depositan su confianza en *sistemas expertos* para reducir los riesgos o minimizar los peligros. Los *sistemas expertos* son sistemas técnicos o de experiencia profesional que organizan grandes áreas del entorno material y social en el que vivimos y están integrados a mucho de lo que hacemos en nuestra vida cotidiana. La mayoría de las personas solicita ayuda de tipo profesional, como puede ser consultar un médico, un abogado, un contador, etcétera, de manera esporádica; sin embargo, la gente confía en los *sistemas expertos*, dado que sobre la experiencia comprobada tales sistemas por lo general funcionan como deben funcionar, y no es necesaria la iniciación o el dominio del conocimiento que ellos emplean, prácticamente es un acto de fe (Giddens, 1993).¹

Un ejemplo de ello, sostiene Giddens, puede ser el hecho de que un conductor de automóvil emplea los frenos sin necesidad de conocer su funcionamiento o

¹ Énfasis del autor

ser un experto en mecánica, simplemente cree en su eficiencia. Es así que el carácter de la modernidad señala a la *seguridad frente al peligro y la fiabilidad frente al riesgo*² como sus rasgos (Giddens, 1993). El peligro es una contingencia que está fuera del control de los humanos, se refiere a fenómenos naturales tales como terremotos, huracanes, tornados, etcétera; a su vez, el riesgo es generado por el hombre y se pueden calcular su ocurrencia y sus consecuencias (Giddens, 2003). No obstante, como se plantea más adelante, hay ocasiones en que esa confianza se pierde por fallas en los análisis de riesgo.

El sociólogo alemán Ulrich Beck sostiene que las diversas consecuencias no deseadas de la modernización radicalizada han configurado la sociedad del riesgo, donde se conectan naturaleza y sociedad. El riesgo es el enfoque moderno de la previsión y control de las consecuencias futuras de la acción humana, es decir, una *incertidumbre fabricada* (Beck, 2002).

Las perspectivas de estos sociólogos despiertan muchas interrogantes serias respecto de las repercusiones de tecnologías que aún no han madurado lo suficiente para brindar certeza sobre sus aplicaciones y usos, como puede ser la biotecnología moderna –que surge en este contexto de la sociedad del riesgo– de ahí la importancia de estar conscientes de los diferentes impactos y contingencias que implican los organismos genéticamente modificados. “La biotecnología es un

campo muy nuevo y aún no se sabe mucho sobre la interacción de los OVM³ con varios ecosistemas. Algunas de las preocupaciones acerca de la nueva tecnología incluyen sus posibles efectos adversos para la diversidad biológica y los riesgos potenciales para la salud humana” (PCSB, 2000).

A continuación se abordan los diferentes riesgos que se han identificado, para luego pasar al análisis de las acciones que se han implementado con el fin de minimizarlos. Podemos advertir los impactos de los organismos genéticamente modificados a nivel ambiental, de la salud, de la alimentación, de la economía, de la sociedad y de la ética, entre otros.

La liberación al medio ambiente de organismos genéticamente modificados puede ocasionar las transformaciones en la flora y en la fauna, los cuales se pueden manifestar en los ecosistemas en un mediano o largo plazo. Entre los efectos están, asimismo, las transformaciones sobre la dinámica de las poblaciones por la propagación de las plantas modificadas genéticamente mediante procesos naturales como el vuelo del polen y la hibernación de las semillas, éstas pueden convertirse en una amenaza para las explotaciones agrícolas vecinas o para las áreas protegidas o indirectamente por cambios en el uso de la tierra o por prácticas agrícolas, al sembrar, durante la cosecha, durante el procesamiento y luego a lo largo de las rutas comerciales

³ OVM se refiere a organismos vivos modificados, es decir, cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna (PCSB, 2000).

en todas las direcciones pueden provocarse cambios en cultivos no designados. También hay posibles efectos imprevistos en la biogeoquímica, en especial debido a las repercusiones sobre las poblaciones microbianas del suelo que regulan el flujo de nitrógeno, fósforo y otros elementos esenciales o la transferencia del material genético insertado a otras poblaciones domesticadas o autóctonas, denominada por lo general flujo génico; el cual se establece mediante la polinización, cruzamientos mixtos, la dispersión o la transferencia microbiana. Suscita preocupación la posibilidad de que la polinización cruzada con poblaciones silvestres ocasione una “contaminación” genética y a partir de allí, se afecte la biodiversidad (FAO, 2001) (NABU, 2009)

Norman Ellstrand, genetista y director del Centro de Impactos de la Biotecnología, en la Universidad de California, Riverside, sostiene que los posibles riesgos de las plantas transgénicas son la hibridación de variedades cultivadas en parientes silvestres, con repercusión de aumento del poder invasor, evolución de la resistencia de las plagas a las toxinas de insecticidas introducidos en plantas, y el impacto en especies no blanco presentes en los ecosistemas (Ellstrand, 2003).

En cuanto a los riesgos a la salud, se teme que el consumo de alimentos transgénicos genere una resistencia a antibióticos y ello impida el control de las enfermedades. La mayoría de las plantas transgénicas en cultivo contiene uno o más genes de resistencia a antibióticos que son utilizados sólo como marcadores para poder seleccionar, en fases tempranas, aquellas plantas que

se han logrado transformar. Varios estudios confirman que tanto la recombinación como la transferencia horizontal entre bacterias aceleran la diseminación de los genes de los organismos patógenos a la especie humana. El riesgo, entonces, es que las bacterias patógenas se vuelvan resistentes a dichos antibióticos disminuyendo su efecto frente a las enfermedades. Por lo anterior, la Unión Europea prohibió el uso de estos genes en productos comerciales a partir de 2004 y en los trabajos de investigación a partir del año 2002 (Onofre y Guerra, 2004).

Se han desarrollado diferentes métodos de transformación genética, que se pueden dividir en dos clases de acuerdo con el mecanismo utilizado para la transferencia: i) métodos basados en la utilización de vectores biológicos, como *Agrobacterium tumefaciens* o virus vegetales; ii) métodos que consisten en la transferencia directa de ADN, mediante el “bombardeo con micropartículas” también conocido como biobalística (Argen-Bio, s/f).

A raíz de este método surge otra de las preocupaciones en torno de los OGM, la incertidumbre en cuanto a la exactitud que puede tener la transformación genética en relación con los fines que se buscan. “Es importante mencionar la falta de precisión de la tecnología, pues no es posible controlar el número de transgenes y el sitio de la inserción, ni tampoco los efectos colaterales y mucho menos la expresión génica y la diseminación de dichos transgenes. Esto ha pasado prácticamente en todas las variedades transgénicas (Onofre, 2009:77).

Al tratarse de un organismo vivo modificado se tienen reservas sobre sus efectos hacia la salud. No obstante, autoridades reguladoras y científicos sostienen que no hay evidencia de daños a la salud humana o animal. Esta postura ha sido criticada por Traavik (citado por Onofre) cuando afirmó que “la ausencia de evidencia nunca se puede usar como evidencia de la ausencia”. La ambigüedad de las decisiones sólo favorece a los proponentes de la tecnología, pues no se sabe si la ausencia de evidencias es consecuencia de exhaustivos estudios o porque los pocos estudios no revelaran efecto adverso alguno (Onofre, 2009). Por supuesto, la falta de evidencia de efectos adversos no es lo mismo que el conocimiento de que la modificación genética es segura (Fresco, 2001).

Este hecho es de particular importancia dado que, desde 2007, el equipo de investigadores del biólogo molecular francés e investigador en el Instituto de Biología y Bioquímica de la Universidad de Caen, Gilles-Eric Séralini, han realizado estudios de toxicidad por el consumo de maíces transgénicos en ratas de laboratorio y el resultado que presentaron en la revista *Food and Chemical Toxicology*, en septiembre de 2012, sostiene que el consumo del maíz de la empresa Monsanto NK 603 y del herbicida glifosato proporcionado a las ratas durante dos años provocó tumores y disfunciones en sus órganos (Séralini, 2012).

El artículo levantó muchas protestas de la Agencia Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) y de una parte de la comunidad científica. El 2 de octubre de 2012 se

publicó un desplegado del Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Francia (CNRS) que proponía dar recursos al grupo de Séralini condicionados a que atendiera las críticas experimentales a las que fue sujeta su publicación, incluyendo expertos en las áreas que no maneja. Esta salida se antoja utópica por los intereses en juego, pero quienes firman el desplegado están convencidos de que una vez corregidos los defectos experimentales del estudio, las evidencias desaparecerán (López-Mungía, s/f).

La investigación de Séralini y su equipo polarizó a los científicos, unos le criticaron la metodología y los hallazgos obtenidos, otros le brindaron su total apoyo. La presión de los críticos del artículo llevó a la revista a concederle a Séralini y colaboradores un espacio en marzo de 2013, para que diera respuesta a las críticas, pero el caso no paró ahí: en noviembre de 2013, el editor de la revista *Food and Chemical Toxicology*, decidió anular la publicación del artículo del equipo de Séralini, esta acción fue calificada como arbitraria y se dijo que minaba las normas de publicación científica, por lo que se enviaron a la revista dos cartas firmadas por investigadores y no investigadores que llevaron a la revista a publicar un nuevo artículo de Séralini y colegas, en abril de 2014 (Piron y Varin, 2015).

Desde hace años, la demanda del doctor Séralini y otros investigadores ha sido que “Los expertos pedimos dos años de test sobre animales en laboratorio, tal como se hace con los medicamentos; pero entonces los OGM no son rentables. Hay un gran combate político

y económico sobre este tema, y hay que decírselo a la gente: no nos permiten ver esos análisis de sangre ni conseguimos hacer el test más allá de tres meses. Esto es un escándalo escondido por las grandes compañías”, (Sanchís, 2009). En efecto, las regulaciones sobre OGM norman como suficientes las pruebas de laboratorio realizadas en un plazo de tres meses. La investigación del doctor Séralini y su equipo tiene el mérito de que se basó en pruebas realizadas a largo plazo y sus hallazgos plantean nuevas preguntas que la comunidad científica tiene que responder. En lugar de negar los resultados debería realizarse una investigación mayor e independiente de las empresas puesto que sólo así se conseguirá otorgar credibilidad a las autorizaciones comerciales del uso de OGM.

Tres años después de la publicación del artículo de Séralini, la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC), que es un ámbito especializado de la Organización Mundial de la Salud (OMS), emitió un documento con los resultados de un año de trabajo de diecisiete expertos de once países, el 20 de marzo de 2015 donde afirma que: “Hay pruebas convincentes de que el glifosato puede causar cáncer en animales de laboratorio y hay pruebas limitadas de carcinogenicidad en humanos (linfoma no-Hodgkin)” (Wise, 2015).

Esta evidencia es preocupante en especial en el caso de México por dos motivos: *i)* el proceso de solicitud de parte de las empresas biotecnológicas de autorización para la siembra comercial de maíz genéticamente modificado y *ii)* el que en la dieta de los mexicanos el maíz es un

alimento básico y su consumo es mayor que en otras culturas alimentarias.

Además de los riesgos a la salud, frente a experiencias negativas con alimentos convencionales, los consumidores fundamentan su preocupación respecto de la inocuidad de los alimentos que provienen de la biotecnología moderna. Dado que los OGM derivados de plantas y animales que hoy en día se comercializan ofrecen un beneficio a los productores agropecuarios y a las empresas biotecnológicas, se formula la interrogante de por qué los consumidores deberán asumir los posibles riesgos, mientras los primeros reciben los beneficios (FAO, 2001) (Villalobos, 2008).

Con el fin de garantizar la inocuidad de los alimentos, se ha prestado atención a la posibilidad de que las modificaciones genéticas pudieran añadir alérgenos al abastecimiento alimentario. Ya sucedió cuando un gen de la nuez del Brasil, productor de metionina, se incorporó a la soya para aumentar su contenido de nutrientes. El proceso fue experimentado por la empresa Pioneer Hi-bred de los Estados Unidos. Sin embargo, los ensayos realizados por los científicos confirmaron que el consumo de soya transgénica podía activar una respuesta alérgica en sujetos sensibles. La naturaleza de las reacciones alérgicas era idéntica a la que activaban las nueces del Brasil en sujetos sensibles. Por consiguiente, la empresa decidió no poner a la venta la soya transgénica. Este caso fue importante para sensibilizar acerca de los posibles riesgos asociados con la transferencia de genes cuando no se conocen bien sus características funcionales (FAO, 2001).

En el aspecto económico y social, los principales riesgos que se presentan son el predominio del monocultivo y la pérdida de independencia de los productores para decidir qué tipo de cultivo producir, por ejemplo, la soya en América del Sur se ha extendido sobre campos que antes se destinaban a la ganadería u otros cultivos, además de la dependencia tecnológica hacia las cinco o seis empresas semilleras transnacionales que concentran la oferta de semillas, tanto híbridas como genéticamente modificadas. Estos fenómenos inciden en la generación de una vulnerabilidad alimentaria y trasladan a estos oligopolios una fuerza política mayúscula mediante el control en la producción de alimentos.

El abanico de impactos, incertidumbre y riesgos derivados de la biotecnología moderna no estaría completo si no se incluyen los aspectos éticos. Para la FAO, el derecho a una alimentación apropiada comprende la obligación por parte de los Estados de proteger la autonomía de los individuos, así como su capacidad para participar en los foros públicos donde se toman decisiones, sobre todo cuando otros participantes son más poderosos, vigorosos o combativos. No obstante, reconoce que hasta en el caso de que haya acceso a la información, esto no garantiza que los profanos tengan conocimientos y capacitación suficientes para interpretar los documentos técnicos y puedan hacer uso de ellos. Los expertos tienen la obligación ética de tomar la iniciativa y expresarse en unos términos que el profano pueda comprender (FAO, 2001).

Sin embargo, los factores éticos tienen implicaciones más profundas; retomando a Giddens, el conocimiento entre los profanos de los entornos de riesgo conduce a reconocer los límites de los expertos, pero es aún más importante el reconocimiento de éstos de sus propios límites, lo que debilita la fe de las personas profanas:

Los expertos frecuentemente asumen riesgos “en nombre” de sus clientes profanos encubriendo o falseando la verdadera naturaleza de sus riesgos o, incluso, el hecho mismo de que existan riesgos. Más perjudicial que el descubrimiento por parte de la persona profana de esta clase de ocultamiento, es la circunstancia en las que son los mismos expertos quienes no son conscientes del verdadero alcance de un conjunto de peligros y de los riesgos asociados a ellos; porque en este caso, lo que es cuestionable, no es sólo los límites o lagunas del conocimiento experto, sino la insuficiencia que compromete la auténtica idea del experto (Giddens, 1993:125).

Esta controversia entre profanos y expertos ha frenado el derecho del público para estar informado sobre los organismos genéticamente modificados mediante el etiquetado de los productos, esta falta de transparencia alimenta las sospechas y resta credibilidad a los expertos.

Sin embargo, no podemos afirmar que la comunidad científica en su conjunto carezca de consideraciones éticas o carezca de conciencia respecto de las implicaciones que la biotecnología moderna puede acarrear en diferentes ámbitos. En el siguiente *Recuadro*

se ilustran las acciones, no del todo exitosas, que emprendieron algunos científicos con el fin de minimizar los riesgos y maximizar las potencialidades de la biotecnología moderna.

RECUADRO 2. CIENCIA Y CONCIENCIA

¿ES POSIBLE LA AUTORREGULACIÓN?

A mediados de la década de los Setenta surgió la preocupación entre algunos científicos sobre los riesgos que se podrían generar con las nuevas tecnologías de manipulación genética, la atención estaba puesta sobre todo en los efectos hacia el personal de laboratorio o el posible escape de moléculas u organismos (Onofre, 2009).

No obstante, biólogos moleculares norteamericanos fueron cautelosos en no generar una opinión desfavorable hacia las nuevas investigaciones y experimentos, ya que si bien estas innovaciones implicaban posibles riesgos adversos, al mismo tiempo, ofrecían promisorias oportunidades. La iniciativa de control y regulación partía de la propia comunidad de expertos (Larrión, 2011).

Entre 1973 y 1975, se reunieron algunos científicos para reflexionar en común sobre los posibles impactos negativos asociados a la nueva tecnología. Uno de los protagonistas de estas reuniones fue el reconocido científico Paul Berg, quien en 1980 recibiría el Nobel de Química. Del 22 al 24 de enero de 1973, se celebró la primera conferencia Asilomar en California. Posteriormente, el 18 de julio de 1974, un grupo de científicos liderado por Berg realizó un llamamiento público para establecer una moratoria voluntaria sobre ciertas líneas de investigación ante los hipotéticos riesgos, en gran medida desconocidos, asociados a una fuga potencial de estos nuevos organismos. En la práctica, se estaba aplicando el principio de precaución. No obstante, esta propuesta no fue secundada por algunos de los científicos bajo el argumento de que frenar la investigación llevaría a Estados Unidos a perder el liderazgo en tecnologías de vanguardia (Larrión, 2011).

Del 24 al 27 de febrero de 1975 tuvo lugar la Segunda Reunión de Asilomar. Acudieron cinco juristas, algunos periodistas seleccionados, múltiples delegados de importantes empresas y alrededor de 150 científicos de 16 Estados. Bajo tensas discusiones, no obstante, en esta Segunda Reunión se llegó a una serie de acuerdos. Los científicos miembros de la Comisión sobre ADN recombinante de la Academia Nacional de Ciencias de los EEUU, presidida por Paul Berg y que incluía a James Watson aprobaron y reconocieron formalmente la moratoria solicitada con anterioridad, pero también en respu-

ta al relativo consenso alcanzado para sólo proseguir con las investigaciones bajo estrictos márgenes de seguridad, se creó un comité de asesoramiento al amparo de los Institutos Nacionales de la Salud de EEUU (NIH). La idea principal era que debía regularse pronto y de manera adecuada la posibilidad de que los nuevos transgenes utilizados en las recientes investigaciones pudieran diseminarse peligrosamente hacia las bacterias, las plantas o los propios animales (Charvolin y Schwartz, 1996 citado por Larrión, 2011). Este comité, conocido como Recombinant DNA Advisory Committee (Comité de Asesoramiento sobre DNAR) (RAC), se encargaría de la elaboración de un conjunto de directrices en materia de seguridad biotecnológica. De hecho, los NIH constituyeron el primer organismo gubernamental en establecer unas directrices generales para procurar regular la investigación en el campo de la biotecnología, sin embargo, eran un organismo consultivo y no una institución reguladora. A pesar de la aprobación formal de esta segunda moratoria, durante los 18 meses en los cuales estuvo vigente, muchos otros científicos decidieron continuar trabajando en secreto sus investigaciones (Larrión, 2011).

En la práctica, la incidencia real de estos intentos sería muy pobre. A medida que muchos expertos se involucraban cada vez más en el ámbito de las aplicaciones comerciales de la biotecnología moderna, el necesario autocontrol que la propia comunidad investigadora había demandado en Asilomar sería poco a poco desfigurado y desvanecido. Así, una de las polémicas quizás más sustantivas que tuvo lugar en estas reuniones y conferencias consistió en tratar de consensuar en qué dirección deberían encaminarse los esfuerzos colectivos más importantes: si en intentar asegurar la muy prometidora rentabilidad mercantil de los actuales productos transgénicos, o si en procurar garantizar la salud y la seguridad de los seres humanos, los animales y el conjunto del medio ambiente (Larrión, 2011).

Es en este contexto que 25 años después se realiza otra reunión en Asilomar, en la cual participaron varios científicos que también estuvieron en 1975, el escenario fue diferente. Las principales comprobaciones de los participantes fueron en el sentido de que había un avance muy grande en los derechos de patente o propiedad intelectual; gran interés por la comercialización rápida; omisión de resultados de efectos adversos; falta de precaución y venta de acciones en las bolsas de valores. Sin embargo, todos estos hechos tienen implicaciones éticas, la realización de investigaciones de forma no ética estaba fuertemente asociada con el desarrollo de los transgénicos. Entre otros, el hecho de obtener recursos en la Bolsa de Valores, obliga a una empresa a presentar siempre resultados positivos. Como esto no siempre es posible, no se descarta la eventualidad de conflictos de interés en el desarrollo de investigaciones o productos (Onofre, 2009).

La bioseguridad y los organismos genéticamente modificados

LA BIOSEGURIDAD Y SUS INSTITUCIONES

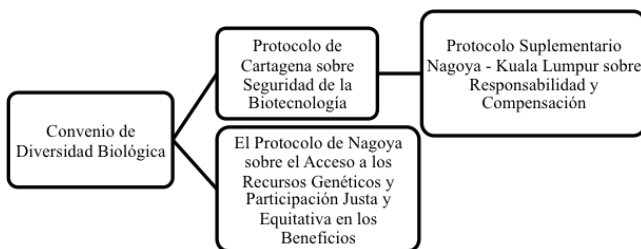
En la reunión de Asilomar de 1975 (Ver *Recuadro 2*) las tensiones producidas a la hora de consensuar la estrategia más adecuada para regular conjuntamente las nuevas técnicas recombinantes, se tradujeron en diversas discusiones complejas y controvertidas. Una de éstas fue la referida a lo oportuno de los sistemas de regulación basados en el concepto de *riesgo*⁴ o en el nuevo concepto de *incertidumbre*. La concepción de *incertidumbre científica* proponía ordenar los experimentos con arreglo al grado de desconocimiento sobre sus posibles consecuencias imprevistas e indeseadas. Para unos expertos, este tipo de riesgos adversos fueron exagerados puesto que, a fin de cuentas, no se disponía en ese momento de datos fehacientes para considerarse especialmente preocupados. Mientras, para otros especialistas, los riesgos eran muy graves y elevados y por ello debían restringirse en gran medida ese tipo de experimentos. En todo caso, fue el antiguo sistema de regulación creado a partir del concepto de riesgo el que fue adoptado. Para uno de los grupos más críticos y descontentos el haber adoptado ese concepto propiciaba la falsa y relativa ilusión de control, certidumbre y seguridad humana y de medio ambiente (Larrión, 2011).

Es así que surge la bioseguridad como la serie de medidas necesarias para evitar impactos negativos a la salud humana y animal, así como al medio ambiente, derivados de la experimentación y uso de técnicas de ingeniería genética. Entre finales de los años setenta y principios de los noventa, los científicos se fueron familiarizando con las herramientas de la ingeniería genética, lo que llevó a cierta flexibilización. En general, el proceso seguía un patrón similar: rigor y cautela, seguido por requerimientos regulatorios menos rigurosos conforme se iba ganando experiencia en el uso de los nuevos productos de la biotecnología moderna. Si bien para 1992, cuando tiene lugar la Convención sobre Diversidad Biológica (CDB), ya se habían realizado intentos por armonizar los enfoques de bioseguridad; esta convención puede considerarse como la institucionalización de la bioseguridad al haber llegado a acuerdos internacionales; sin embargo, el sello que van adquiriendo éstos son más de corte ambientalista y quedan relegadas las cuestiones relacionadas con la alimentación y la salud (González, 2004).

CONVENIO DE DIVERSIDAD BIOLÓGICA

Dado que la biotecnología moderna impacta los recursos biológicos, el uso seguro de ésta llevó a que su marco regulatorio forme parte del Convenio de Diversidad Biológica. A continuación se explica en qué consiste este convenio internacional que tiene el estatus de ser vinculante para aquellos países que forman parte de él. De este tratado internacional se derivan dos

protocolos específicos: El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (PCSB) y El Protocolo de Nagoya sobre el Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se deriven de su utilización. El primero, además, cuenta con el Protocolo Suplementario Nagoya-Kuala Lumpur sobre Responsabilidad y Compensación al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología.



Fuente: (CBD, sf).

El Convenio de Diversidad Biológica sostiene que los recursos biológicos de la Tierra son fundamentales para el desarrollo económico y social de la humanidad. Como consecuencia, hay un reconocimiento cada vez mayor de la diversidad biológica como bien mundial de valor inestimable para la supervivencia de las generaciones presentes y futuras. Al mismo tiempo, la amenaza que pesa actualmente sobre las especies y los ecosistemas nunca ha sido tan grave. En efecto, la

extinción de especies causada por las actividades del hombre continúa a un ritmo alarmante. En respuesta a ello, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) convocó a un Grupo Especial de Expertos sobre la Diversidad Biológica en noviembre de 1988, con el objetivo de explorar la necesidad de establecer un convenio internacional sobre la diversidad biológica. Poco tiempo después, en mayo de 1989, el PNUMA estableció el Grupo de Trabajo *ad hoc* de expertos jurídicos y técnicos a fin de preparar un instrumento jurídico internacional para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica. Los expertos debieron tomar en consideración “la necesidad de compartir los costos y los beneficios entre los países desarrollados y los países en desarrollo”, así como “los medios y la modalidad para apoyar las innovaciones de las comunidades, locales” (CDB, 1992).

Hacia febrero de 1991, el Grupo de trabajo ya recibía la denominación de Comité Intergubernamental de Negociación. Sus trabajos culminaron el 22 de mayo de 1992 en la Conferencia de Nairobi, donde se aprobó el texto acordado del Convenio sobre la Diversidad Biológica, éste quedó abierto a la firma en la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo (“Cumbre de la Tierra”, de Río de Janeiro), desde el 5 de junio de 1992 hasta el 4 de junio de 1993, periodo en el cual firmaron 168 países. El Convenio entró en vigor el 29 de diciembre de 1993, es decir, noventa días después de su ratificación por treinta países. La voluntad creciente de la comunidad internacional

por el desarrollo sostenible sirvió como inspiración al Convenio sobre la Diversidad Biológica. El Convenio representa un paso decisivo hacia la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la distribución justa y equitativa de los beneficios obtenidos del uso de los recursos genéticos (CDB, 1992).

A la fecha, son 193 las Partes que han ratificado el CDB, se les denomina Partes porque no siempre corresponde a países, puede ser una organización regional de integración económica por ejemplo, la Unión Europea. Los países que no están integrados al CDB son: Estados Unidos de Norteamérica, Andorra, Santa Sede y Sudán del Sur.

El Convenio sobre Diversidad Biológica aborda los siguientes temas:

- Conservación *in situ* y *ex situ*
- Uso sustentable
- Acceso a los recursos genéticos y distribución de beneficios
- Acceso a la tecnología y transferencia de tecnología, incluida la biotecnología
- Evaluación de impacto ambiental
- Educación y conciencia pública
- Suministro de recursos financieros
- Presentación de informes nacionales sobre las medidas para poner en práctica los compromisos asumidos en virtud del tratado
- Medidas e incentivos para la conservación y uso sostenible de la diversidad biológica.

El Protocolo de Nagoya sobre el Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios busca compartir los beneficios derivados de la utilización de los recursos genéticos en forma justa y equitativa, lo que comprende acceder adecuadamente a dichos recursos y realizar una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, tomando en cuenta todos los derechos sobre los recursos mencionados y las tecnologías, así como mediante un financiamiento apropiado, con lo que se contribuye a la conservación de la diversidad biológica y a la utilización sostenible de sus componentes (CDB, sf).

El tema de la seguridad en el uso de la biotecnología se aborda en el artículo 19 del CDB, que establece que las Partes estudiarán la necesidad y las modalidades de un protocolo para la utilización segura de los OGM, por lo que desde la Segunda Reunión de las Partes (COP),⁵ se estableció un Grupo de Trabajo con el mandato de elaborar un protocolo sobre bioseguridad. Las negociaciones se iniciaron en 1995, y culminaron en enero de 2000 con la aprobación del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. Este Protocolo

⁵ COP, por sus siglas en inglés (Conference of the Parties) se refiere a la Conferencia de las Partes que forman el Convenio de Diversidad Biológica; sin embargo, al referirse al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre Diversidad Biológica, el Convenio funciona como la reunión de Partes del Protocolo (COP-MOP), también por sus siglas en inglés (Conference of the Parties serving as the meeting of the Parties to the Cartagena Protocol on Biosafety) o sea Conferencia de las Partes que actúa como reunión de las Partes en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. De ahí que, en lo sucesivo, al referirse en el texto a las reuniones del protocolo, se adopta el nombre de la COP-MOP.

tiene como objetivo contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos genéticamente modificados que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, y se centra en los movimientos transfronterizos. Para promover la seguridad de la biotecnología, el Protocolo se basa en el enfoque de precaución, que figura en el Principio 15 de la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo (CONABIO, s/f).

*PROTOCOLO DE CARTAGENA SOBRE SEGURIDAD
DE LA BIOTECNOLOGÍA*

El Protocolo se enfoca a los OVM que se introducirán directamente en el medio ambiente, los destinados a uso confinado y aquellos para alimento humano, animal o para procesamiento. No abarca los productos farmacéuticos, de los que se ocupan otros acuerdos y organizaciones internacionales, o los productos derivados de OVM, tales como el aceite de cocina de maíz genéticamente modificado o el papel obtenido de árboles genéticamente modificados (CONABIO, s/f).

Las disposiciones del Protocolo de Cartagena establecen mecanismos diferentes para el movimiento transfronterizo, dependiendo si se trata de una liberación al ambiente o si son OGM destinados para uso directo como alimento humano o animal o para procesamiento. Ambos procedimientos tienden a garantizar

que se dé a los países receptores la información que necesitan para la toma de decisiones sobre las importaciones de estos organismos. El Protocolo establece, además, un “Centro de Intercambio de Información sobre Seguridad de la Biotecnología” (BCH por sus siglas en inglés), que facilita la transparencia y el intercambio de información (CONABIO, s/f).

El Protocolo de Cartagena como parte del proceso de adopción de decisiones establece realizar una evaluación de riesgos, a fin de determinar y evaluar los posibles efectos adversos que puede tener un OGM en la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica. Considerando que ninguna tecnología o actividad humana está totalmente libre de riesgos, el Protocolo exige que cada país administre y controle los riesgos identificados a través de sistemas de vigilancia, programas de investigación, capacitación técnica y una mejor coordinación interna entre los organismos y servicios gubernamentales (CONABIO, s/f).

El protocolo promueve la seguridad de la biotecnología tras establecer reglas y procedimientos para la transferencia, manejo y uso seguro de los organismos vivos modificados, OVM, con especial atención en los movimientos transfronterizos de OVM. Las Partes del Protocolo deben asegurar que los OVM se manejen, envasen y transporten según las condiciones de seguridad. Asimismo, el envío de OVM sujeto a movimientos transfronterizos debe acompañarse de la documentación adecuada que especifique, entre otros asuntos, la identidad de los OVM y el punto de contacto para mayor

información. Estos procedimientos y requisitos están diseñados para proporcionarle a las Partes importadoras la información necesaria para la toma de decisiones fundamentadas acerca de aceptar o no la importación de ovm, así como para su manejo seguro.

La Parte importadora toma decisiones de acuerdo con evaluaciones de riesgo científicamente sólidas. El Protocolo establece los principios y las metodologías sobre cómo llevar a cabo un análisis de riesgos que comprende la evaluación, manejo y comunicación del riesgo. Las Partes, entonces, deberán adoptar medidas para gestionar cualquier riesgo identificado por dicha investigación y deberán seguir los pasos necesarios en caso de una liberación accidental de ovm. En caso de que el conocimiento y la información científica relevante sean insuficientes, la Parte importadora deberá ser cuidadosa en la toma de decisiones respecto de la importación.

Hasta ahora, han ratificado el protocolo de Cartagena 166 países, entre los más recientes están Uruguay, en 2012; y Afganistán, en 2013. Durante las reuniones preparatorias para negociar la firma del protocolo sobre bioseguridad fue difícil lograr que se concertaran los intereses en pugna entre los diversos países, agrupados para este debate de manera especial. Las naciones que para 1999 ya había liberado ocm convinieron estrategias de negociación conjunta a través del denominado grupo Miami, conformado por Estados Unidos, Argentina, Canadá, Chile, Uruguay y Australia. Los países de la Unión Europea establecieron su propio grupo de

negociación; lo mismo hicieron la mayoría de los países del Tercer Mundo autodenominados “países con ideas afines” y a ellos se agregaron los países ex socialistas de Europa oriental y un grupo heterogéneo que se denominó “grupo de compromiso” que incluía, entre otros, a México, Suiza, Japón, Corea y Nueva Zelanda (Pérez-Miranda, 2001). Del grupo de Miami sólo Uruguay ratificó recientemente su participación en el protocolo, pero el resto de países de dicho grupo se consideran como no partes de este tratado.

Los movimientos transfronterizos de ovm entre Partes y Estados que no son Partes deberán ser compatibles con el objetivo del Protocolo. Las naciones podrán concertar acuerdos bilaterales, regionales y multilaterales en relación con estos movimientos con Estados que no son Partes. El protocolo contempla, de la misma manera, la posibilidad de que las partes del Protocolo alienten a los Estados que no son parte a que se adhieran a éste y a que incorporen al centro de intercambio de información sobre seguridad de la biotecnología información pertinente sobre los ovm liberados o introducidos en zonas dentro de su jurisdicción nacional o transportados fuera de ella.

Las Partes también podrán tener en cuenta según sus obligaciones internacionales, las consideraciones socioeconómicas al tomar decisiones sobre la importación de ovm. Para los objetivos de este libro este tema es de particular importancia. Como se mencionó más arriba, las negociaciones para la aprobación del Protocolo de Cartagena fueron tensas y complicadas, de

tal suerte que la implementación del protocolo no está ausente de estas dificultades y es quizás en el aspecto específico de tomar en consideración los aspectos socioeconómicos para la importación de OVM donde resida un mayor grado de controversia tal y como lo evidencia el hecho de que fue hasta la Quinta Reunión en que se empezó a abordar este tema.

Del Protocolo de Cartagena interesa destacar los artículos 10 y 26. El primero en el apartado 6 hace referencia al principio precautorio:

Artículo 10. 6 El hecho de que no se tenga certeza científica por falta de información o conocimientos científicos pertinentes suficientes sobre la magnitud de los posibles efectos adversos de un organismo vivo modificado en la conservación y utilización sostenible de la diversidad biológica en la Parte de importación, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, no impedirá a la Parte de importación, a fin de evitar o reducir al mínimo esos posibles efectos adversos, adoptar una decisión, según proceda, en relación con la importación del organismo vivo modificado de que se trate como se indica en el párrafo (CDB, 2000:7).

Este artículo abre la posibilidad de que un gobierno decida impedir la entrada de un OVM a su territorio por considerar que presenta determinados riesgos aunque no se cuente con la evidencia científica para sustentar su decisión.

El artículo 26 atañe directamente a la posibilidad de tomar en consideración los aspectos socioeconómicos

que se relacionan con la conservación de la biodiversidad y las formas de vida de las comunidades indígenas y locales.

Artículo 26. 1 Las Partes, al adoptar una decisión sobre la importación con arreglo a las medidas nacionales que rigen la aplicación del presente Protocolo, podrán tener en cuenta, de forma compatible con sus obligaciones internacionales, las consideraciones socioeconómicas resultantes de los efectos de los organismos vivos modificados para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, especialmente en relación con el valor que la diversidad biológica tiene para las comunidades indígenas y locales. 2. Se alienta a las Partes a cooperar en la esfera del intercambio de información e investigación sobre los efectos socioeconómicos de los organismos vivos modificados, especialmente en las comunidades indígenas y locales (CDB, 2000:20).

De este artículo, lo primero que llama la atención es la interpretación que se le ha dado, subordinando la conservación de la biodiversidad a un criterio comercial, como se analiza más adelante.

Ahora bien, en cuanto a su aplicación para 2007, eran 147 las Partes que habían suscrito el PCSB y tenían que enviar su primer informe sobre el avance en la implementación del protocolo, pero sólo 73 lo hicieron. Asimismo, para diciembre de 2007 debían exponer sus opiniones y estudios de casos, de estar disponibles, sobre los impactos socioeconómicos de los organismos vivos modificados, en especial en las comunidades

indígenas y locales, ya que en mayo de 2008, para la Cuarta COP-MOP en Bonn, Alemania, se trataría el tema. Cuatro gobiernos respondieron a este acuerdo: Colombia, China, Noruega y Sudáfrica. Estados Unidos envió su opinión como gobierno, no parte del protocolo, y también se recibieron quince opiniones más de distintos actores sociales involucrados, tales como organizaciones internacionales, ONGS y académicos (CDB, 2008; Chauvet, 2009).

De los que respondieron, Colombia sólo fue para decir que no tienen nada al respecto, China reconoce que tienen estudios sobre efectos socioeconómicos en algodón, arroz y álamos genéticamente modificados, pero que ha avanzado muy poco en ese tema al enfrentar varios obstáculos, como la complejidad ecológica, la falta de recursos humanos para investigación y de apoyos financieros. Sudáfrica señaló que se están considerando los factores socioeconómicos en su proceso de toma de decisiones; sin embargo, reconoce la necesidad de desarrollar algunos marcos rectores. Se considera que a medida que la gama de OVM y las experiencias relacionadas con éstos aumentan, el peso de las consecuencias socioeconómicas en el sistema regulatorio también se incrementará. Noruega opina que los aspectos socioeconómicos podrían ser pertinentes en las decisiones relativas a los OVM, y señaló que esto está reflejado en la legislación noruega sobre la producción y uso de organismos genéticamente modificados (CDB, 2008; Chauvet, 2009).

Por último, los Estados Unidos argumentaron que las partes deben analizar primero los impactos en la

conservación y el uso sostenible de la diversidad biológica y sólo después considerar los asuntos socioeconómicos que surjan de estos impactos. El documento señaló que una interpretación más amplia de las consideraciones socioeconómicas se saldría del campo de acción del PCSB y sería incongruente con el mismo; también, al considerar los asuntos socioeconómicos como parte del proceso de toma de decisiones, las partes deberían tener un enfoque balanceado que considerase los beneficios socioeconómicos que podrían aumentar, gracias al uso de OVM. El documento también recalcó que el Artículo 26 del protocolo requiere que a medida que las partes tomen en cuenta las consideraciones socioeconómicas, lo hagan de acuerdo con sus obligaciones internacionales tales como las de la Organización Mundial de Comercio y su acuerdo sobre la aplicación de medidas sanitarias y fitosanitarias (CDB, 2008; Chauvet, 2009).

Estos hechos dejan ver la escasa importancia que los gobiernos le otorgan a la aplicación del artículo 26 y esto se explica al combinarse distintas maneras de ver el problema y por la falta de experiencia en la integración de consideraciones socioeconómicas en el proceso de toma de decisiones relativas a los OVM.

Hasta ahora existen dos tipos de interpretaciones de este artículo del protocolo: la restringida y la ampliada. La primera se limita a ver sólo los aspectos de riesgo ambiental y los factores que afectan a la biodiversidad, además de considerar el hecho de tomar en cuenta las consideraciones socioeconómicas como una

sobrerregulación que frena la adopción de tecnología dado el creciente costo de la regulación. En la industria de la salud, en la que la regulación es más robusta, colocar un producto farmacéutico en el mercado, en 2001, costaba alrededor de doscientos millones de dólares, pero para un cultivo GM los costos de producción era alrededor de sólo treinta millones de dólares, y los costos regulatorios pueden sumar otros cinco y seis millones de dólares más. ¿Qué cultivos pueden soportar estos costos en el mercado comercial? (Fresco, 2001). Frente a esta perspectiva, la propuesta es de sólo conducir estudios de costo-beneficio.

En la segunda interpretación del artículo 26, se toman en cuenta los aspectos ambientales, junto con los sociales y culturales. Entre sus propuestas está incluir la evaluación socioeconómica desde la formulación del proyecto. También se ha llegado a proponer la inclusión de los aspectos sociales, económicos y culturales en la evaluación de riesgo.

Otro aspecto que está en el debate es el momento adecuado para tomar en cuenta las consideraciones socioeconómicas. Hay cuatro etapas en que esto puede suceder: *i)* En el desarrollo del marco regulatorio sobre bioseguridad; *ii)* Durante la evaluación de riesgo de un organismo modificado en particular; *iii)* Después del análisis de riesgo, o, *iv)* En el proceso de apelación, revisión o renovación del permiso de importación o de comercialización (Garforth, 2005).

A esta disyuntiva se le ha denominado el dilema de Collingridge, en las primeras etapas del desarrollo

de una tecnología es imposible regularla, porque no se sabe la dirección en la cual se desarrollará la tecnología, pero una vez que la nueva tecnología ha sido desarrollada, puede ser demasiado invasiva como para prevenir su introducción (Collingridge, 1980). Tal y como la plantea López Pelaéz:

es muy difícil tomar decisiones para orientar o configurar una tecnología en los momentos iniciales de su desarrollo, ya que sabemos poco acerca de sus costes, oportunidades, riesgos y efectos positivos y negativos. Sin embargo, cuando se ha desarrollado e implantado, y tenemos suficiente conocimiento sobre ella, es muy difícil introducir modificaciones en su trayectoria. Una posible forma de superar este dilema es aportar, mediante la metodología prospectiva, información adecuada antes de que las trayectorias tecnológicas sean irreversibles. Por ello, los estudios prospectivos se han convertido en una herramienta estratégica, tanto para la competitividad interna de los países, cuanto para el sistema democrático mismo, en la medida en que las opciones tecnológicas que tomamos, o que dejamos de tomar, configuran de manera a veces definitiva nuestro modelo de vida (López-Pelaéz, 2009:827).

Además del cuándo, también es sustancial el cómo. Para Fransen y colaboradores deberían diseñarse políticas que integren las consideraciones socioeconómicas en el proceso de toma de decisiones; tener una clara definición de qué se entiende por “consideraciones socioeconómicas” y un criterio explícito para determinar cuándo se requiere de una evaluación socioeconómica;

identificar las etapas en las que la evaluación socioeconómica tiene que hacerse; eficiencia y costo-beneficio del proceso regulatorio y, de suma importancia, la participación pública sobre los mecanismos de aplicación de esas consideraciones para asegurar decisiones ampliamente aceptadas (Fransen *et al*, 2005).

El espíritu que prevaleció en la Cuarta Reunión del Protocolo de Cartagena, realizada en mayo de 2008, en Bonn, Alemania, fue el de circunscribir el artículo 26 a los análisis de costo-beneficio, bajo el argumento central de la imposibilidad de cuantificar los análisis y la complejidad de incorporar aspectos cualitativos, como son los sociales y culturales. En ese mismo sentido, se evadió incluir en las discusiones la primera parte del artículo 26 y se limitaron al segundo apartado que invita a intercambiar información e investigación sobre los efectos socioeconómicos de los organismos vivos modificados y presentar recomendaciones en la Quinta Reunión que se celebraría en Nagoya, Japón, en octubre de 2010 y para tomar este tema en la Sexta Reunión del PCSB.

En función de trabajar dichas recomendaciones, en julio de 2008, en la Ciudad de México, se realizó un taller de expertos donde se destacaron los asuntos clave para la aplicación del artículo 26, que consisten en reconocer el valor y el uso de la biodiversidad, además de los aspectos económicos, sociales, culturales, religiosos, éticos e institucionales. Otra actividad fue avanzar en una guía metodológica para tomar en cuenta distintos acercamientos teórico-metodológicos para

ser empleados en la evaluación de las repercusiones socioeconómicas de los OVM (Chauvet, 2009). Se discutió el proyecto de cuestionario para aplicar una encuesta, la cual se realizó en línea entre el 14 de octubre y el 13 de noviembre de 2009, con 154 países y 578 participaciones.

A continuación se presentan las respuestas más importantes de dicha encuesta. Entre las posibles razones por las que las consideraciones socioeconómicas no fueron atendidas en las decisiones relativas a los OVM, el mayor número de respuestas señaló que no existe un mecanismo para tenerlas en cuenta y se fundamentó en la falta de capacidad y en la coordinación institucional para ello. Los aspectos financieros fueron señalados como los principales retos para incluir las consideraciones socioeconómicas.

Las áreas prioritarias para la creación de capacidades en evaluación socioeconómica fueron la seguridad alimentaria, los impactos al mercado, al comercio y a la macroeconomía, así como los efectos a la conservación y sustentabilidad de la biodiversidad. Los encuestados se pronunciaron por la importancia de contar con una guía metodológica para la inclusión de las consideraciones socioeconómicas en la toma de decisiones sobre OVM. Los temas que resaltaron fueron: propiedad intelectual, aspectos macroeconómicos, cultura, ética y rentabilidad.

En la Quinta Reunión del PCSB, las Partes pidieron al Secretariado que convocara a conferencias generales y regionales –en línea– tanto respecto de consideraciones socioeconómicas, como en la realización de un taller

referido a la creación de capacidades para el intercambio de información e investigación que producen los efectos socioeconómicos de los organismos vivos modificados (OVM) para que la información de estas actividades fuera tomada en cuenta en la Sexta Reunión del Protocolo.

De esas actividades destacan los siguientes aspectos. Varios participantes coincidieron en que la prioridad para la creación de capacidades en este tema consiste en desarrollar claridad conceptual con respecto de las consideraciones socioeconómicas en la toma de decisiones. Esto incluye el desarrollo de una idea más precisa sobre los objetivos, el alcance, las dimensiones de los impactos, criterios y puntos de referencia normativos para este problema. Una vez que estos puntos se hayan establecido, sería posible recurrir a crear capacidades para la evaluación de los impactos socioeconómicos.

Hay dos interpretaciones respecto de la fracción I del Art. 26:

1. El artículo 26 sólo debe tener en cuenta las consideraciones socioeconómicas que se derivan de los efectos de los OVM en la conservación y el uso sostenible de la biodiversidad. Por tanto, no se incluyen otros factores como pudiera ser la pérdida de competitividad o de mercados.
2. Cuando la introducción de organismos vivos modificados afecta a la diversidad biológica, de tal manera que las condiciones sociales y económicas son o pueden ser perturbadas, una parte podrá recurrir al artículo 26 para justificar la toma de decisiones sobre la importación de organismos vivos modificados (Mackenzie *et al*, 2003).

La fracción II del Art. 26 se refiere a la información e investigación de los efectos socioeconómicos de los OVM en las comunidades indígenas y locales. Por lo anterior es pertinente preguntarse: ¿Qué debemos entender por consideraciones socioeconómicas?

Las consideraciones socioeconómicas cubren un amplio espectro, ya que pueden ser expresadas por una variedad de actores, incluidos los consumidores, los agricultores, los pueblos indígenas, la industria y los propios gobiernos; puede haber repercusiones positivas y negativas, entre aspectos económicos, temas culturales, inclusive puede tomarse en cuenta la ética y la religión (Garforth, 2005; Fransen *et al*, 2005).

Algunos de las preocupaciones de estos diferentes grupos pueden traslaparse, mientras que otros serán para un determinado grupo. Además, los actores de los países desarrollados y también los que están en desarrollo tienen diferentes inquietudes de las consideraciones socioeconómicas relacionadas con la bioseguridad, algunas de éstas son comunes a ambos grupos; pero otras, sólo pueden ser relevantes para uno o para el otro. Durante las negociaciones del protocolo, muchas naciones presentan diferentes y posibles consideraciones socioeconómicas de los efectos de la introducción de un OVM (Garforth, 2005).

Una revisión de la literatura revela una amplia gama de repercusiones socioeconómicas de los organismos vivos modificados, los cuales incluyen:

TABLA 5. CONSIDERACIONES SOCIOECONÓMICAS
 EN RELACIÓN CON LOS OGM

• Las amenazas a los cultivos tradicionales y las variedades de los agricultores que tienen importantes funciones sociales, culturales y económicas, por extensión de los monocultivos.	• Efectos de la sustitución de importaciones a través de organismos diseñados para ser producidos fuera de sus zonas agroclimáticas nativas o bienes sustitutos, por ejemplo, la vainilla.
• El costo de oportunidad de la opción “libre de transgénicos” para un país por la liberación de un OGM en su frontera.	• Los costos de creación y mantenimiento de los sistemas de cultivos segregados entre los no GM y GM.
• Pérdida de actividades culturales relacionadas con los sistemas agrícolas actuales, como el intercambio de semilla que puede verse limitado ante la imposibilidad de almacenamiento de semillas, lo que podrían conducir a la desaparición de la diversidad cultural.	• Creciente dependencia de un pequeño grupo de empresas biotecnológicas multinacionales, si los agricultores tienen que comprar los insumos para el cultivo de OGM a partir de estas empresas año tras año. La falta de competencia que conduce al monopolio ineficiente o las prácticas oligopólicas de precios.
• La pérdida de la elección del consumidor entre alimentos GM y no-GM.	• Los altos costos de las semillas modificadas en comparación con las semillas convencionales.
• Aumento de la brecha entre los cultivos desarrollados para satisfacer las necesidades de los agricultores y el desarrollo de los cultivos modificados que respondan a las capacidades científicas y / o intereses comerciales de las empresas de biotecnología.	• Reducción en el empleo, al tener una agricultura más eficiente que requiera de menos intervención humana o de mano de obra, por ejemplo los cultivos resistentes a herbicidas ya no requieren de jornadas laborales de eliminación de malezas.
• Pérdidas económicas a los agricultores orgánicos, quienes pueden perder su certificación debido a contaminación genética.	• La pérdida de mercados de exportación, si las cosechas del país contienen niveles inaceptables de GM, por ejemplo, la miel que proviene de superficies cultivadas con transgénicos.

• Rehabilitación de tierras contaminadas por las plantas y los microorganismos modificados genéticamente, que permita volver a poner a la tierra en uso productivo, así como la eliminación de efectos de la contaminación.	• Los impactos sobre las poblaciones vulnerables, como las comunidades indígenas; las mujeres que subsisten en tierras marginales. Si las tierras marginales se vuelven productivas por cultivos que soportan el estrés ambiental serán con estas características cada vez más valiosas desplazando así a los agricultores pobres.
• Disminución de la seguridad alimentaria, por ejemplo, si el monocultivo de cultivos transgénicos aumenta la susceptibilidad a infestaciones de plagas, se podrían reducir los rendimientos, también los ingresos de los agricultores, y finalmente, los alimentos.	• El desarrollo de alimentos más saludables y las consecuencias socioeconómicas positivas de una población mejor nutrida; por ejemplo, las personas con dietas más saludables son más capaces de trabajar y menos propensos a requerir tratamiento médico, etcétera.
• Desarrollo de los cultivos y alimentos con mejores características de conservación y distribución.	• El uso de microorganismos en la producción industrial podría conducir a una reducción en el uso de productos químicos; es decir, la mejora de la eficiencia.
• Necesidad de un marco regulador fiable y predecible para fomentar la inversión de las empresas en materia de biotecnología y promover el crecimiento económico.	• La incertidumbre sobre la responsabilidad por los posibles efectos negativos del medio ambiente, la salud y consecuencias económicas de los transgénicos.
• Una fuerte regulación desalienta la investigación y el desarrollo potencial de productos y procesos beneficiosos.	• La pérdida de confianza en la producción de alimentos y el sistema de regulación por los que cuestionan la seguridad de los OGM.

Fuente: Elaboración propia, con base en Garforth, 2005

Como se señaló arriba, en la Cuarta Reunión de PCSB se decidió que en la agenda de la Sexta Reunión del protocolo se incluiría lo relativo a las consideraciones socioeconómicas. En la Sexta Reunión de las Partes en el protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, que tuvo lugar en Hyderabad, India, del 1 al

5 de octubre de 2012, se produjeron pasos importantes para fomentar la aplicación del protocolo. En particular, se avanzó en temas relativos a consideraciones socioeconómicas, evaluación y gestión de riesgos de los organismos vivos modificados (ovm) y creación de capacidad (CDB, 2013).⁶

Las Partes acordaron avanzar en las deliberaciones relativas a cuestiones socioeconómicas asociadas a los ovm. Para tal fin decidieron establecer un grupo especial de expertos técnicos y desarrollar claridad conceptual sobre las consideraciones socioeconómicas que resultan de los efectos de los ovm en la diversidad biológica; en particular, con respecto del valor de la diversidad biológica para las comunidades indígenas y locales. También se pidió al Secretario Ejecutivo que convocara a grupos a un debate en línea y conferencias regionales en línea en tiempo real con el fin de facilitar y sintetizar el intercambio de opiniones, información y experiencias sobre consideraciones socioeconómicas (CDB, 2013).

La Secretaría organizó, en consonancia con la decisión VI/13 de la Sexta Reunión de las Partes en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, los grupos de discusión en línea y conferencias regionales en tiempo real, también en línea, para facilitar el intercambio de opiniones, información y

⁶ El Protocolo de Cartagena establece en su artículo 22 que la creación de capacidad consiste en la cooperación en el desarrollo y/o el fortalecimiento de los recursos humanos y la capacidad institucional en materia de seguridad de la biotecnología (PCSB, 2000).

experiencias respecto a las consideraciones socioeconómicas entre las Partes, otros Gobiernos, organizaciones pertinentes y las comunidades indígenas y locales en el contexto del artículo 26. La Secretaría convocó a los grupos de discusión en línea del 1º de marzo al 16 de abril de 2013. Un total de 113 personas se registraron en las discusiones y 49 de ellos hicieron al menos una intervención. Se registró, asimismo, un total de 297 mensajes enviados a la Secretaría, 52 por ciento de éstos fueron de participantes localizados en los países desarrollados y 48 por ciento de países en desarrollo. Asimismo, la Secretaría convocó a cuatro conferencias regionales, en tiempo real y en línea, sobre consideraciones socioeconómicas para: (i) Europa Occidental y otros Estados, y Europa Central y Oriental Europa; (ii) Asia y el Pacífico; (iii) África; y (iv) Grupo de América Latina y el Caribe. Un total de cuarenta Partes, cuatro no Partes y otros seis observadores participaron en las conferencias (CBD, 2013).

Una de las dificultades para aplicar el Art. 26 es que hace referencia a grupos sociales que a lo largo de la Historia han sido excluidos del desarrollo y reconocerlos como sujetos potencialmente afectados por los OGM y esto provoca que afloren sin duda los rezagos en materia de justicia y equidad social. Es por ello que limitar el alcance del Art. 26 a los impactos de la biodiversidad, sin reparar en los procesos sociales y culturales que le son intrínsecos implica una separación artificial. El moverse en ese terreno es evadir o posponer el problema; en cambio, su reconocimiento, aunque no es tarea

fácil, llevaría a resultados más sólidos. No obstante, así como se avanzó en la armonización de los marcos regulatorios en materia de propiedad intelectual para la obtención de las patentes, debería trabajarse por adecuar el mencionado Art. 26 al marco regulatorio de la bioseguridad, tomando en consideración la divergencia y especificidad de los procesos bioculturales (Chauvet, 2009).

En cuanto a los mecanismos regulatorios necesarios para tomar en cuenta las consideraciones socioeconómicas y culturales, son pocos los países que los han incorporado a su legislación en materia de bioseguridad y aun así resulta insuficiente este paso si no se avanza en ponerlos en práctica. En la medida en que los gobiernos –ya sea de manera directa o no– se acerquen a la sociedad para la toma de decisiones, obtendrán el aval social necesario ya sea para aprobar o para prohibir la entrada de OVM a su territorio (Chauvet, 2009).

Entre los otros protocolos complementarios está el Protocolo suplementario de Nagoya-Kuala Lumpur sobre responsabilidad y compensación que se adoptó en la Quinta Reunión del PCSB, celebrada en Nagoya, Japón, en octubre de 2010. El Protocolo suplementario proporciona normas y procedimientos internacionales en la esfera de la responsabilidad y compensación en relación con el daño para la diversidad biológica resultante de los organismos vivos modificados. La COP-MOP 5 también decidió que pueden tomarse medidas de compensación adicional en aquellos casos en que los costos de las medidas de respuesta proporcionadas por el

protocolo suplementario no se hayan cubierto y que dichas medidas pueden incluir disposiciones que la COP-MOP deberá abordar. Más todavía, la COP-MOP urgió a las partes a cooperar en el desarrollo y/o fortalecimiento de los recursos humanos y las capacidades institucionales relacionadas con la aplicación del protocolo suplementario e invitó a las partes a tenerlo en cuenta al formular la asistencia bilateral, regional y multilateral a las partes que son países en desarrollo (CBD, s/f).

Además del Protocolo de Cartagena, prevalecen una serie de instrumentos internacionales y procedimientos para la elaboración de normas que abordan diferentes aspectos de los organismos genéticamente modificados, entre los que pueden mencionarse: *a)* La Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC), que protege la salud de las plantas mediante una evaluación y gestión de los riesgos de las plagas vegetales; *b)* La Organización Norteamericana de Protección de Plantas (NAPPO); *c)* La Comisión del Codex Alimentarius, que aborda la seguridad alimentaria y la salud del consumidor; *d)* La Organización Mundial para la Salud Animal (OIE), encargada de elaborar normas y directrices destinadas a prevenir la introducción de agentes y enfermedades infecciosas durante el comercio internacional de animales, material genético animal y productos de fauna (CONABIO, s/f).

RECUADRO 3. POSTURAS FRENTE A LA EVALUACIÓN DE RIESGOS DE LOS OGM EQUIVALENCIA SUSTANCIAL - PRINCIPIO PRECAUTORIO

La evaluación de la seguridad de los alimentos que provienen de cultivos genéticamente modificados ofrece mecanismos que van desde una regulación laxa a otra preventiva.

La primera se conoce como el criterio de equivalencia sustancial, se basa en la evaluación de la composición de proteínas, carbohidratos, grasas, ceniza, aminoácidos, entre otros. Si el organismo transgénico obtenido por la ingeniería genética muestra ser equivalente en composición a su contraparte no genéticamente modificada, entonces este transgénico puede ser considerado tan seguro como los convencionales (Onofre, 2009).

En 1993, la Organización para la Cooperación Económica y Desarrollo propuso el concepto de equivalencia sustancial, principio asumido después por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. La equivalencia sustancial reconoce que el objetivo de la evaluación no es establecer una inocuidad absoluta, sino determinar si el alimento modificado genéticamente es tan inocuo como su homólogo tradicional, cuando existe tal homólogo. Es sabido que una evaluación de esta índole exige un enfoque integrado y progresivo, basado en las circunstancias de cada caso (FAO, 2001).

Desde el punto de vista científico, el transgen insertado en una planta contiene elementos bastante distintos de los encontrados en la planta original, que permiten la creación de nuevos productos génicos que pueden desencadenar efectos no previstos y colaterales sustanciales para que sean considerados despreciables (Onofre, 2009).

Las agencias reguladoras de varios países que exportan transgénicos como Estados Unidos, Canadá, Argentina y Brasil, entre otros, bajo el concepto de equivalencia sustancial concluyen que los transgénicos no ofrecen riesgos o que son inocuos.

En el otro extremo está el enfoque precautorio que se incluye en acuerdos internacionales, desde la conservación de especies marítimas hasta la protección de la biodiversidad. Este principio se basa en medidas anticipatorias ante ausencia de evidencia científica (Herrera, 2005). La declaración sobre el medio ambiente y el desarrollo, que fue aprobada por la Asamblea General de la Organización de las Naciones Unidas durante la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 establece en su principio 15 que: "A fin de proteger el medio ambiente, los Estados habrán de aplicar con amplitud un enfoque precautorio de acuerdo con sus capacidades. En casos de amenaza de daños serios o irreversibles, la falta de una total certeza científica no debe usarse como razón para posponer medidas eficientes en términos de costo para prevenir

la “degradación ambiental”. Este principio se adoptó en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología.

El principio precautorio busca anticiparse al daño y así proteger la salud humana y el medio ambiente. Pero precaución no es simple prevención de riesgos que se han predicho o que han sido científicamente probados. En lugar de esto, el principio precautorio va más allá de la noción de prevención en el sentido de que se insiste en lo que los tomadores de decisiones se muevan para anticipar los problemas antes de que lleguen o que la prueba del daño sea científicamente establecida (Jordan y O’Riordan, 1999).

Aun cuando este principio tiene la capacidad de proteger el medio ambiente de la diseminación incontrolada de los OGM, está atrapado en debates interminables sobre su aplicación y compatibilidad con reglas comerciales (Herrera, 2005). En efecto, este mecanismo de regulación se interpreta que puede ser utilizado como una herramienta política para disfrazar el proteccionismo y obstruir el libre comercio (Carullo, 2002).

ETIQUETADO DE LOS ALIMENTOS GM

El tema del etiquetado de los alimentos genéticamente modificados se presenta al final de este capítulo, dado que el lector a estas alturas ya tendrá conocimiento del contexto en que se ha desarrollado la biotecnología moderna y sus aplicaciones a nivel comercial. Lo que se mencionó con respecto de la ausencia de evidencias de impactos a la salud por el consumo de este tipo de alimentos, junto con el concepto de equivalencia sustancial explicado en el *Recuadro 3*, nos proporciona la pauta para entender las polarizadas posiciones en cuanto al etiquetado ya sea de alimentos transgénicos o de productos alimenticios que puedan contener algún componente de un organismo genéticamente modificado.

Quienes se oponen al etiquetado de los transgénicos consideran que éste sería inútil ya que la regulación mediante el concepto de equivalencia sustancial

sostiene que al no haber diferencias cualitativas entre ellos y los productos convencionales resulta innecesaria una evaluación específica de riesgo y, por tanto, no hay fundamento para su diferenciación mediante etiquetas que informen que se trata de un alimento con una modificación genética. Además, esta práctica podría interpretarse por parte de los consumidores como una advertencia de los posibles riesgos a la salud que los transgénicos pudieran tener y eso implicaría un engaño porque hasta ahora se carece de evidencia respecto de daños a la salud ocasionados por el consumo de cultivos genéticamente modificados.

Es importante reflexionar sobre lo que Vandana Shiva nombra como “esquizofrenia ontológica” de los OGM, ella se refiere a que un requisito para obtener las patentes de las semillas transgénicas consiste en su carácter novedoso –como se analizó en el capítulo uno–, pero cuando se trata de reconocer los riesgos o de regular a los transgénicos, las compañías biotecnológicas rechazan esto, dado que sostienen que son sustancialmente equivalentes con su homólogos naturales: “Un mismo organismo no puede ser ‘novedoso’ y ‘no novedoso’ a la vez” (Shiva, 2003:137).

Desde el punto de vista económico, la segregación de los alimentos GM de los no GM implicaría costos adicionales en todos sus ámbitos, desde la siembra, cosecha, almacenamiento y distribución y ello necesariamente repercutiría en el precio de los alimentos. Asimismo, el etiquetado podría afectar a los mercados de exportación que en algunos países son la base de su economía.

El punto de vista contrario apela a la libertad de elección por parte del consumidor para lo cual requiere información clara, precisa y oportuna y el hecho de que las compañías se nieguen a proporcionarla en las etiquetas levanta sospechas de que algo ocultan, porque –nos preguntaríamos– si los transgénicos son inocuos, ¿cuál es la razón para no informarlo? Igualmente, también podría exigirse la obligatoriedad del etiquetado por razones éticas, religiosas o de salud, en el caso de personas con alergias concretas a ciertos productos. Así, por los motivos que fueran, muchos consumidores desearían evitar comer productos obtenidos a partir de ciertos organismos de origen animal o vegetal (Larrión, 2013).

De tal suerte que los actores sociales implicados en el debate del etiquetado de los alimentos transgénicos son los siguientes:

Las empresas biotecnológicas, conjugando las incertidumbres de los mercados con las expectativas sobre la maximización de los beneficios monetarios, velan por el libre comercio global de sus invenciones y se quejan de los recelos irracionales de los consumidores y de una normativa legal poco clara y demasiado exigente. Los agricultores y productores, por su parte, tampoco saben muy bien en ciertas ocasiones qué alimentos les podrían ser más rentables, si los convencionales, los orgánicos o los transgénicos. A su vez, los consumidores y sus representantes más o menos organizados siempre defienden su derecho a ser bien informados y a elegir con total libertad y conocimiento. Y las instituciones reguladoras estatales y supraestatales, reproduciendo en gran medida estas mismas

tensiones estructurales, se debaten sobre hasta qué punto deben anteponer la garantía de los derechos de los ciudadanos a la garantía de los derechos de las empresas, los productores y los mercados económicos internacionales (Larrión, 2013:7).

En lo referente a la manipulación, transporte, envasado e identificación de los ovm el artículo 18⁷ estipula que la

⁷ A la letra dice: 1. Para evitar efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, las Partes adoptarán las medidas necesarias para requerir que los organismos vivos modificados objeto de movimientos transfronterizos intencionales contemplados en el presente Protocolo sean manipulados, envasados y transportados en condiciones de seguridad, teniendo en cuenta las normas y los estándares internacionales pertinentes.

2. Cada Parte adoptará las medidas para requerir que la documentación que acompaña a: *a*) organismos vivos modificados destinados a uso directo como alimento humano o animal o para procesamiento, identifica claramente que “pueden llegar a contener” organismos vivos modificados y que no están destinados para su introducción intencional en el medio, así como un punto de contacto para solicitar información adicional. La conferencia de las Partes, en su calidad de reunión de las Partes en el presente protocolo, adoptará una decisión acerca de los requisitos pormenorizados para este fin, con inclusión de la especificación de su identidad y cualquier identificación exclusiva, a más tardar dos años después de la fecha de entrada en vigor del presente protocolo; *b*) organismos vivos modificados destinados para uso confinado los identifica claramente como organismos vivos modificados; especifica los requisitos para su manipulación; el punto de contacto para obtener información adicional, incluido el nombre y las señas de la persona y la institución a que se envían los organismos vivos modificados; y *c*) organismos vivos modificados destinados a su introducción intencional en el medio ambiente de la Parte de importación y cualesquiera otros organismos vivos modificados contemplados en el Protocolo los identifica claramente, organismos vivos modificados; especifica la identidad y los rasgos-características pertinentes, los requisitos para su manipulación, almacenamiento, transporte y uso seguros, el punto de contacto para obtener información adicional y, según proceda, el nombre y la dirección del importador y exportador; y contiene una declaración de que el movimiento se efectúa de conformidad con las disposiciones del presente protocolo aplicables al exportador.

3. La Conferencia de las Partes que actúa como reunión de las Partes en el presente Protocolo examinará la necesidad de elaborar normas, y modalidades para ello, en relación con las prácticas de identificación, manipulación, envasado y transporte en consulta con otros órganos internacionales pertinentes.

documentación, en el caso de uso confinado o su introducción intencional en el medio ambiente de la Parte de importación, permitirá identificarlos claramente como Organismos Vivos Modificados. En cambio, en la etiqueta de los ovm destinados a uso directo como alimento humano o animal, o para procesamiento, debe señalarse, “pueden llegar a contener” organismos vivos modificados. Los requisitos detallados del etiquetado se adoptarían a más tardar dos años después de la fecha de entrada en vigor del Protocolo, es decir, en 2003, pero es hasta la Tercera Reunión del Protocolo, en marzo de 2006, realizada en Curitiba, Brasil cuando se aborda este asunto.

El texto del protocolo permite a las Partes y a los no Partes entrar en arreglos de acuerdos comerciales de organismos vivos modificados siempre y cuando no contravengan el objetivo del Protocolo, según lo especifica el artículo 24 del mismo. En ese sentido, los países que son grandes exportadores de cultivos transgénicos que no forman parte del protocolo, Argentina, Estados Unidos y Canadá, realizaron reuniones en mayo y junio de 2003 para llegar a un modelo de acuerdo bilateral entre países exportadores e importadores a fin de facilitar el comercio de transgénicos una vez que el protocolo estaba vigente. En octubre de 2003, México firmó un acuerdo trilateral con Estados Unidos y Canadá sobre los requisitos de documentación para Organismos Vivos Modificados destinados a uso directo como alimento humano o animal, o para procesamiento. México es parte del Protocolo, mientras que los otros dos países no lo son. (Lin, 2004).

El acuerdo trilateral es básicamente para que la presencia accidental de organismos vivos modificados en un embarque cuyo contenido no sea transgénico, no exija la documentación con la leyenda “puede contener”. También se ha establecido un umbral de contaminación del cinco por ciento. En otras palabras, se acepta hasta cinco por ciento de contaminación como no contaminación, y si la contaminación es accidental, tampoco se aplicarán requisitos de identificación, además el embarcador ni siquiera está obligado a describir los OVM que contiene el paquete, a pesar de que esta medida deja sin efecto una de las provisiones más importantes sobre el manejo seguro (Lin, 2004) (Wise, 2008).

Ahora, con este acuerdo trilateral, México ha aumentado aún más su carga de monitoreo y pruebas, y se enfrentará a la tarea imposible de regular la bioseguridad, en la medida que las autoridades no podrán hacer evaluaciones adecuadas de la seguridad de la biotecnología en todos los transgénicos aprobados o no, en México, Canadá o Estados Unidos, que estarán introduciéndose por sus fronteras. No hay umbrales permisibles para la bioseguridad” (Lin, 2004:1).

Estos acuerdos se adelantaron a la discusión del tema del etiquetado que se realizó en la Tercera reunión de las Partes del Protocolo en Curitiba, Brasil, en marzo de 2006. La delegación brasileña recomendó un periodo transicional de cuatro años para que los países paulatinamente de manera obligatoria etiquetaran sus embarques con la leyenda “contiene Organismos Vivos

Modificados”; sin embargo, la resolución fue extenderlo a un plazo de seis años. No obstante, las negociaciones fueron tensas, dado que México ya había firmado un acuerdo trilateral con países no firmantes del protocolo, insistió en que se incluyera una cláusula en el sentido de que las reglas aprobadas nos aplicarían al transporte transfronterizo entre países partes y los no partes de dicho protocolo.

En el caso de Europa éste es un tema muy sensible a partir de los escándalos que se suscitaron con los alimentos convencionales, como es el caso de las vacas locas, las dioxinas, y otros; o de los cultivos transgénicos como el maíz Starlink y el caso de ProdiGene, que se detallan en el capítulo cuatro. Se ha enfatizado por parte de los consumidores, sobre todo europeos, la necesidad de conocer el rastro que tienen los alimentos desde su cultivo hasta la mesa; este requisito se conoce con el nombre de trazabilidad. Es por ello que el etiquetado resulta un tema de debate en torno de la bioseguridad.

La British Medical Association, que representa a más del 80 por ciento de médicos británicos, se ha pronunciado por el etiquetado obligatorio por la sencilla razón de que sería más fácil identificar, trazar y verificar los problemas que pudieran ocurrir al consumirlos (Zepeda, 2001:6).

En la Unión Europea, el 18 de abril de 2004 entró en vigor la nueva normativa europea sobre etiquetado y trazabilidad de los OGM. La trazabilidad, en concreto, alude a la capacidad para seguir el rastro de los

alimentos a lo largo de todas las cadenas de producción, distribución y comercio. Ésta se refiere, justamente, al conocimiento de la identidad, la ubicación y los desplazamientos espaciales y temporales de los OGM. Según esta nueva normativa europea, pues, el etiquetado específico de los productos presentes en el mercado sería obligatorio a partir de un contenido en ingredientes transgénicos superior a 0.9 por ciento (Larrión, 2013).

PROTOCOLO SUPLEMENTARIO

El 16 de octubre de 2010, en la Quinta Reunión del Protocolo de Cartagena se aprobó el protocolo denominado Protocolo de Nagoya-Kuala Lumpur sobre responsabilidad y compensación, suplementario al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología.

El término “responsabilidad” normalmente se asocia con la obligación en virtud del derecho aplicable, para proporcionar compensación por los daños resultantes de una acción por la cual dicha persona es considerada responsable. En el contexto del protocolo, responsabilidad y compensación se centran en la cuestión de qué sucedería si el movimiento transfronterizo de organismos vivos modificados (OVMS) causara daño. El tema de la responsabilidad y compensación por daño resultante de movimientos transfronterizos de OVMS fue uno que se trató en el orden del día durante la negociación del Protocolo sobre Seguridad de la Biotecnología. Las negociaciones, sin embargo, no alcanzaron ningún consenso respecto de los detalles de

un régimen de responsabilidad en virtud del protocolo. No obstante, se consideró que este tema era crítico y urgente. En consecuencia, se incluyó una cláusula de habilitación para dichos propósitos en la parte final del texto del protocolo. Así, la Primera Reunión de la Conferencia de Partes que actúa como reunión de las Partes del Protocolo (COP-MOP) estableció un Grupo de Trabajo Especial de composición abierta de expertos técnicos y jurídicos sobre responsabilidad y compensación para cumplir el mandato según el Artículo 27 (CBD, s/f).

El nuevo protocolo suplementario proporciona normas y procedimientos internacionales en la esfera de la responsabilidad y compensación en relación con el daño para la diversidad biológica resultante de los organismos vivos modificados (OVMS). El nuevo tratado se abrió para su firma en la sede de las Naciones Unidas en Nueva York entre el 7 de marzo de 2011 y el 6 de marzo de 2012 y entraría en vigor noventa días después de haber sido ratificado por al menos cuarenta partes en el Protocolo de Cartagena sobre la Seguridad de la Biotecnología. Sin embargo, hasta el segundo semestre de 2013, sólo diez países lo han ratificado: Bulgaria, República Checa, Alemania, Irlanda, Latvia, Letonia, Lituania, Luxemburgo, México, Mongolia, España, Suecia (CBD, s/f).

La biotecnología moderna surge en el contexto del modelo económico neoliberal que tiene entre sus características la desregulación. En efecto, estamos viviendo una era de declinación de la regulación nacional donde se ejerce presión a los Estados para perseguir la

competitividad nacional, en lugar de tener una coherencia nacional respecto de sus propios sectores agrícolas (McMichael, 1991). Sin embargo, la apertura de los mercados alrededor del mundo ha estado basada en el surgimiento de nuevas formas de regulación que han hecho posible el avance de la globalización. Estos procesos tienen lugar mediante instituciones como la Organización Mundial de Comercio, el Fondo Monetario Internacional y el Banco Mundial. Este telón de fondo, junto con el poder de las empresas transnacionales para realizar cabildeo frente a estas instituciones ha significado el surgimiento de sólidos equipos de abogados especialistas en derecho privado internacional con el fin de perseguir sus metas e intereses. Ello explica las tensiones y presiones que se han experimentado para establecer un marco regulatorio internacional, relativo a la bioseguridad de la biotecnología moderna y al hecho de que tomar en cuenta las consideraciones socioeconómicas para la adopción o no de un OGM se considere un obstáculo al libre comercio, y en ese sentido predomine más este criterio que el de la bioseguridad.

III. LA AGROBIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO

Estructura de la agricultura en México

Antes de abordar los casos de la agrobiotecnología en México resulta pertinente hacer una breve caracterización del sector agropecuario. Este ejercicio permitirá dimensionar los alcances y limitaciones que las aplicaciones de la biotecnología moderna tienen en el presente contexto nacional.

El modelo económico que ha prevalecido desde hace tres décadas arroja los siguientes resultados:

- Un aumento del volumen de las importaciones que ha tenido un efecto en dos niveles: por un lado, poner en riesgo la seguridad alimentaria, y por el otro, dismantelar la estructura productiva. En efecto, a partir de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte, el mercado interno se ha reducido y cada vez es mayor el abasto alimentario que proviene del exterior, sobre todo en Estados Unidos, se estima que el ochenta por ciento de las importaciones se realizan con ese país. Entre 2009 y 2011, el componente importado de alimentos tuvo las siguientes cifras:

Rango de las importaciones	Producto y porcentaje
Menos del 10 %	Huevo (0.4%), maíz blanco (3.7%), café oro (4.6%) y azúcar (9.5%)
Del 10 al 30 %	Leche (13.2%), frijol (13.5%), carne de aves (18.3%) y sorgo (26.1%)
Del 30 al 50 %	Carne de bovino (34.5%) y de porcino (40.2%)
Más del 50%	Trigo (51%), maíz amarillo (80.1%), arroz (89%) y soya (95%)

Fuente: FAO, 2013.

En relación con la seguridad alimentaria es importante hacer notar que nueve de estos productos contribuyen con 75 por ciento del suministro de energía alimentaria per cápita en México: maíz, azúcar, trigo, leche, carne de cerdo, aceite de soya, pollo, frijol y huevo (FAO, 2013). En lo que respecta al sector productivo, estas compras en el exterior han desplazado a los productores nacionales. Los casos más severos en cuanto al impacto en la estructura productiva son para el arroz y la porcicultura.

- Cerca del sesenta por ciento del mercado interno de granos está en manos de unas cuantas corporaciones: Maseca, Cargill, Archer Daniel's Midland, Bimbo, Minsa, Molinos de México, Gamesa Altex, Bachoco, Lala y Malta de México, las cuales tienen el control de la compra de las cosechas internas, la importación, el transporte, el almacenamiento, la distribución y la industrialización (Rudiño, 2010).

Principales corporaciones del sistema alimentario mexicano que dominan el mercado:
Comercialización de granos y oleaginosas: Cargill.
Semillas y pesticidas: Monsanto, Syngenta, Bayer, Dow Agro y Basf.
Maquinaria y equipo agrícola: John Deere y New Holland.
Industria de harina de maíz: Maseca.
Industria del trigo: Bimbo, ADM y Gamesa-Pepsico.
Industria avícola: Bachoco, Pilgrims Pride y Tysson.
Lácteos: Grupo Lala y Nestlé.
Carne de cerdo y carnes frías: Sygma y Smithfield.

Engorda y procesamiento carne de res: Grupo Viz.
Almidones y alta fructuosa de maíz: Corn Products International y ADM.
Refrescos y bebidas: FEMSA y Pepsico.
Cerveza: Grupo Modelo y Cervecería Cuauhtémoc.
Transporte ferroviario: KCS.
Distribución minorista: Wal-Mart.

Fuente: Rudiño, 2010.

- El crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB) agrícola –que incluye ganadería, aprovechamiento forestal, caza y pesca– ha sido de 1.1 por ciento en promedio al año en el periodo de 2000-2011. El gasto en divisas por importaciones de alimentos equivalen a siete por ciento del valor de las exportaciones totales, y pese al dinamismo de las exportaciones agroalimentarias, el déficit de la balanza comercial agroalimentaria se duplicó entre 2000 y 2011 para alcanzar los cinco mil millones de dólares. La contribución del sector agropecuario al PIB nacional ha ido disminuyendo hasta representar 3.8 por ciento en 2011 (FAO, 2013).
- El VIII Censo Agrícola, Ganadero y Forestal 2007, en relación con el tamaño de los predios, reportó que el número de unidades de producción que tenía una superficie de hasta dos hectáreas era de 2.4 millones; lo que representó 43.5 por ciento del total de unidades a nivel nacional. Las unidades de más de dos y hasta cinco hectáreas representaron 22.9 por ciento y las demás de cinco y hasta veinte registraron 23.4 por ciento. En síntesis, casi 90 por ciento de las unidades de producción reportaron tener una superficie menor de 20 hectáreas. En contraparte, sólo 2.2 por ciento registró que tenía más de cien hectáreas (INEGI, 2007).

- En cuanto a la tenencia de la tierra, 84.5 millones de hectáreas las detentan 3.2 millones de ejidatarios: 73.1 millones de hectáreas pertenecen a 1.6 millones de propietarios privados, y siete millones de indígenas poseen 27.6 millones de hectáreas (Robles, 2007).

- Para 2007, la distribución porcentual de la superficie según la disponibilidad del agua era de 82.2 por ciento para temporal y 17.8 por ciento para riego (INEGI, 2007).

- A nivel de unidades de producción. Para 2007, seis por ciento eran productores en gran escala; 18 por ciento eran los llamados de transición, y 76 por ciento eran pequeños productores de autoconsumo o subsistencia (Rubio, 2013). En otro estudio, la clasificación de las unidades de producción agropecuaria, forestal y pesquera arrojó, según el valor de sus ventas, seis grupos de Unidad Económica Rural o UER. Los dos primeros estratos son unidades familiares de subsistencia, uno sin relación con el mercado (22.4 por ciento del total) y el segundo con vinculación al mercado (50.6 por ciento). El tercero es un grupo en transición (8.3 por ciento). Los tres restantes son unidades empresariales, con “rentabilidad frágil” (9.9 por ciento), “pujantes” (8.4 por ciento) y empresarios “dinámicos” (0.3 por ciento del total). Su problemática es altamente diferenciada en acceso a capital natural, financiero, humano, tecnología, productividad, integración, mercados, ventas e ingresos. A la desigualdad se suma la concentración: sólo dos grupos de UER empresariales, el 8.7 por ciento del total, reúne el 74.2 por ciento de las ventas del sector (FAO, 2013).

- En el caso del crédito, la polarización también se exterioriza, sólo 4 por ciento de las unidades de producción accedió a él en 2007, mientras que 96 por ciento quedó excluido, además de

concentrar los recursos en unos cuantos productores, ya que éstos se destinaron a unos pocos estados. En el caso del crédito, una sola entidad, Sinaloa, participó con 39 por ciento del crédito otorgado por Financiera Rural (Rubio, 2013).

- En 2007-2008 se produjo una crisis alimentaria en el país, cuyas causas se debieron a fenómenos internacionales que provocaron un alza de los precios de los granos básicos, lo que facilitó la especulación por parte de los grandes comercializadores. Debido a la polarización y desigualdad de las unidades de producción este acontecimiento fortaleció a los grandes empresarios y las compañías agroalimentarias, dado que tienen las condiciones de recursos, estrategias y apoyos necesarios para aprovechar los altos precios, mientras que los productores de autoconsumo se vieron desfavorecidos, pues carecen de una posición como productores, por lo que enfrentaron el alza de precios como consumidores, mientras que el apoyo del gobierno en el programa oportunidades resultó del todo insuficiente (Rubio, 2013).

- Por grupos de cultivos, el valor de la producción más importante sigue siendo la de los cereales (sólo el maíz aporta el 19 por ciento del valor total), seguido de frutales, forrajes, hortalizas y cultivos industriales. En siete estados se concentra 50 por ciento del valor de la producción: Sinaloa, Michoacán, Veracruz, Jalisco, Sonora, Chihuahua y Chiapas. La brecha productiva, de capital, capacidades e ingreso entre las unidades familiares de subsistencia –con y sin acceso al mercado– y las empresariales, es muy grande. La concentración geográfica del valor de la producción de alimentos y de unidades económicas rurales empresariales dinámicas en pocas entidades federativas expresa una desigualdad crítica (FAO, 2013).

- Esta asimetría entre los productores rurales ha provocado que en las últimas tres décadas la migración hacia Estados Unidos y Canadá haya aumentado de manera creciente año con año. Como consecuencia se ha dado una escasez de mano de obra en el campo y la composición demográfica, en los diferentes poblados, es de mujeres, ancianos y niños.

- En 2010, 40.5 por ciento de la población que habita en municipios urbanos se encontraba en situación de pobreza, mientras que 64.9 por ciento de la población que vive en municipios rurales se hallaba en esta situación. Estos últimos municipios suelen ubicarse en zonas de difícil acceso, lo que encarece la construcción de infraestructura y dificulta el acceso a servicios básicos, como educación y salud. Aunado a ello, la dispersión poblacional que caracteriza a estos territorios propicia que las carencias aumenten y se concentren, entre ellas, la del acceso a la alimentación. Así, 33.5 por ciento de la población que habita en municipios rurales presenta carencia por acceso a la alimentación, mientras que entre la población que ocupa municipios urbanos el porcentaje es de 22.9 por ciento (FAO, 2013). Para el 2012, se consideraba pobre el 61.6 por ciento de la población rural, de este porcentaje 21.5 por ciento en pobreza extrema y 40.1 por ciento en pobreza moderada (Coneval, 2013).

- Para el 2007, de 4 067 618 productores, 2 960 199 tenían algún grado escolar, de los cuales 75.4 por ciento contaban con la primaria (INEGI, 2007).

- En el campo se ha dado una pluriactividad, es decir, los recursos económicos ya no provienen en exclusiva de la actividad agrícola, sin embargo, ello no implica, necesariamente, un aumento en los ingresos, más bien se puede considerar como una estrategia de sobrevivencia frente a los crecientes niveles de pobreza.

- Las actividades del narcotráfico y delincuencia organizada se suman a este crítico panorama, lo cual afecta, no sólo la economía de los distintos sectores, sino también su vida cotidiana.

Esta compleja situación que se acaba de describir sobre la polarización de la agricultura mexicana en un sector dedicado a la agricultura comercial y otro, enfocado a una de tipo familiar, con serios problemas de desigualdad, falta de recursos, problemas de desnutrición y educación, hacen ver que las salidas son complicadas y por tanto se requiere de múltiples acciones y propuestas. En efecto, es muy importante tomar en cuenta el entorno con todas sus variables dado que ya no es posible proponer opciones de carácter general.

Como se desprende de la caracterización que se hizo de la agricultura mexicana en la actualidad, es evidente que no se trata de manera exclusiva de un problema de carácter tecnológico. En efecto, se conjugan una serie de factores, que se han acumulado en el tiempo y que sería muy reduccionista pensar que la biotecnología moderna tiene soluciones a estos complejos problemas, quizás sus aplicaciones puedan contribuir en alguno de los aspectos, pero de ninguna manera se puede fincar en una técnica la solución de problemas que parten de políticas adoptadas con sesgos, de intereses creados, de compromisos adquiridos, todos ellos en conjunto han creado la realidad a la cual ahora nos enfrentamos.

Los cultivos transgénicos en México

A continuación se presentan los diferentes casos de la aplicación de la biotecnología moderna en diversos cultivos y productos en México. La información de este apartado se basa en el trabajo de investigación desempeñado, desde 1990, en el área de investigación sobre los impactos sociales de la biotecnología, del Departamento de Sociología de la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Azcapotzalco (Chauvet y Castañeda, 2013).

De los nueve casos que se presentan a continuación sólo dos provienen de centros de investigación públicos del país, el de papa y papaya; los otros siete: jitomate, flor, leche, trasplante de embriones, algodón, maíz y soya, son aplicaciones desarrolladas en el extranjero por las empresas biotecnológicas que se mencionaron más arriba. Esos casos responden a las necesidades de los agricultores de otros países y se adaptaron a las condiciones nacionales, pero no como una respuesta a sus necesidades particulares. Esta realidad es en extremo alarmante porque profundiza la dependencia tecnológica hacia unas cuantas corporaciones agrobiotecnológicas, mientras que a escala nacional, la política en ciencia y tecnología seguida en las últimas tres décadas ha sostenido la inversión en ese rubro por debajo del uno por ciento del Producto Interno Bruto.

Antes de liberar al ambiente los cultivos transgénicos deben analizarse todos sus riesgos debido a que una vez que están en la naturaleza resulta irreversible

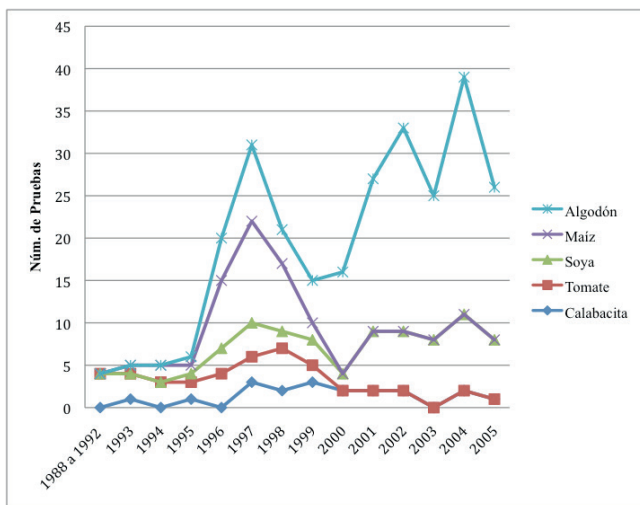
retirar los genes. Éste es el objetivo primordial que busca la bioseguridad, como se analizó en el Capítulo II. Para realizar esta acción se requiere de pasos previos: el análisis, la gestión y la comunicación del riesgo. En ese sentido, se establecen, una vez realizada la evaluación de los riesgos, los protocolos y mecanismos para que un OGM se libere al medio ambiente; ello dependerá del tipo de cultivo, de la región donde se va a cultivar y del tipo de transformación genética que la semilla contenga.

Las fases que se tienen que ir cumpliendo son, primero, la solicitud de permisos para pruebas experimentales, y en función de los resultados de éstas, la siguiente es pedir autorización para llevar ensayos piloto, que consisten en aumentar la escala de lo que fue la prueba experimental y, por último, se presentan los resultados y, si éstos son favorables en cuanto a la adaptación a las condiciones y se prueba que no ofrecen riesgos severos, se llega a la etapa final, que es la liberación comercial. Esta última fase, para el caso de México, deja en libertad a las compañías biotecnológicas de sembrar sin necesidad de hacer monitoreo o supervisión del impacto ambiental que generen.¹

¹ En términos de los artículos 3 fracción XVI y 58 de la Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM), la liberación de tipo comercial se lleva a cabo sin que se adopten medidas de contención que limiten el contacto del Organismo Genéticamente Modificado (OGM) con la población y el medio ambiente, y se realiza sobre todo con fines comerciales; una vez que se otorga un permiso para una liberación de este tipo, las actividades e importaciones subsecuentes no requieren de permisos sucesivos, y se continúan aplicando las condiciones y términos de la liberación establecidos en un inicio (CONABIO, 2012a).

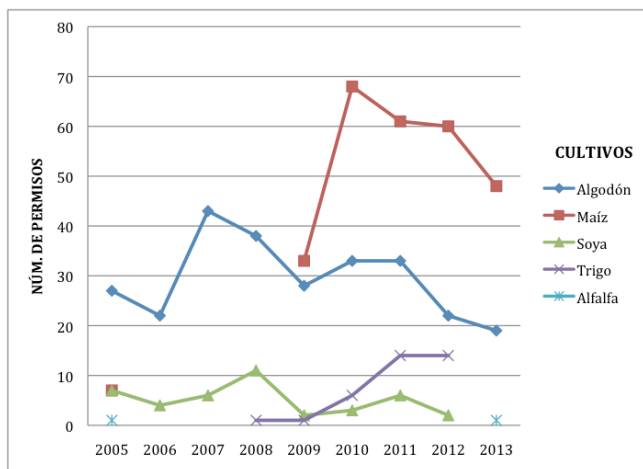
Como vimos con anterioridad, los cultivos transgénicos se comercializan mundialmente desde 1996 y para el caso de México, los primeros permisos para pruebas experimentales de tomate y papa datan de 1988. A continuación se presentan las pruebas de campo realizadas de 1988 a 2005 bajo la Ley federal de Sanidad Vegetal (LFSV) y de la Norma Fito 056 y el tipo de cultivos (Gráfica 2). Éstos eran los instrumentos jurídicos que se aplicaron antes de la existencia de la Ley de Bioseguridad que entró en vigor en el 2005.

GRÁFICA 2. PRUEBAS DE CAMPO APROBADAS
CONFORME A LA LFSV Y LA NORMA FITO 056



Una vez que se cuenta con la Ley de Bioseguridad los permisos otorgados para pruebas experimentales piloto y comerciales se rigen bajo este marco, en la *Gráfica* se representan los que fueron otorgados para los cultivos de mayor importancia por el número de permisos o por la superficie de siembra: algodón, maíz, soya, trigo y alfalfa. Con menor frecuencia se otorgan a:

GRÁFICA 3. PERMISOS BAJO LA LEY DE BIOSEGURIDAD



Fuente: CIBIOGEM 2005-2013.

El cultivo de jitomate

En el capítulo uno se abordó el caso del jitomate de larga vida de anaquel *Flavr Savr*, y se explicaron las causas

que llevaron a retirar este producto del mercado. En México, este jitomate fue el primer cultivo transgénico aprobado para su siembra comercial en 1995. Sin embargo, los productores de Sinaloa que tienen una alta producción de jitomate, bajo agricultura protegida, encontraron una variedad de alto rendimiento, *Divine Ripe*, obtenida por mejoramiento convencional y que ofrecía mejores respuestas en productividad, por lo cual no fue adoptado.

La floricultura

A partir de los ochenta surge en México la floricultura, destinada a la exportación, con tecnología de punta importada y que se desarrolla de manera independiente de la producción florícola tradicional. Los comienzos de la actividad empresarial se dan con la emigración de la familia Matsumoto, y otras familias japonesas, desde los años cuarenta. En el Estado de México, en los municipios de Villa Guerrero y Tenancingo, se inicia el primer polo empresarial y grandes empresas, como Visaflor y Coxflor, que alcanzan cientos de hectáreas bajo invernadero. Dichas empresas exportan en especial a Estados Unidos (Massieu, 1997; Massieu, 2013).

La producción intensiva de flor ha incorporado la biotecnología al adquirir materiales genéticos clonados que importan de las grandes empresas florícolas mundiales holandesas, francesas y estadounidenses. Este insumo representa un alto costo, pero ofrece a los

productores una gran ventaja: en las fechas de alta venta de flores que corresponden a determinados días festivos, se logra una floración sincronizada y el producto se puede vender hasta cinco veces por encima de su precio normal. De esa manera, la mayor inversión se centra en el material genético y en la infraestructura de invernadero (Massieu, *et al*, 2000).

La producción de flores en invernadero para exportación significa únicamente entre diez y veinte por ciento de la producción nacional, el destino es Estados Unidos, mercado abastecido en ochenta por ciento por Colombia y Ecuador. En ese sentido, la aplicación de la biotecnología en la floricultura mexicana es muy limitada, al consistir básicamente en la maquila del material importado que está protegido por derechos de propiedad intelectual y por tanto, implica una dependencia de la compra de estos insumos.

La transferencia de embriones para ganado lechero

La tercera aplicación biotecnológica que abordaremos es la transferencia de embriones (TE) en ganado lechero. Esta técnica ya fue descrita en el Capítulo 1 como aquella que permite una mejora de la calidad genética de los hatos ganaderos de forma más acelerada que con el método de cruza convencionales. Los embriones de alta calidad genética, cuando no existe una hembra receptora en el momento requerido, son congelados en nitrógeno líquido, dentro de un termo especial para su posterior transferencia.

De 1986 a 1993, Liconsa instaló un Centro de Mejoramiento Genético (Cemegen) en Tepoztlán, Estado de México, con la finalidad de colaborar en el mejoramiento genético de los hatos de bovinos productores de leche. A tres años de iniciado el programa se detectaron los siguientes problemas:

- La mayor parte del instrumental de laboratorio, semen y otros insumos que se utilizaron en la TE eran importados, lo cual contribuyó a elevar su costo.
- La transferencia de embriones representaba un alto costo para el pequeño productor, que justamente era el que tenía más urgencia de mejorar la calidad genética de su ganado.
- Los grandes ganaderos no estaban dispuestos a invertir, porque si bien es una técnica que permite mejorar en periodos más cortos la calidad genética de las vacas, no está exenta de riesgo como puede ser la muerte del embrión trasplantado y con ello la pérdida de la inversión.
- El uso de la transferencia de embriones no se generalizó debido, entre otras causas, a que Liconsa no estaba en capacidad de cubrir en forma simultánea funciones tales como producción, distribución y difusión. Así como carencia de personal y recursos financieros para llevar a cabo asesoría técnica y seguimiento completo de los embriones trasplantados. En el primer año de operación del programa se encontraban más de nueve mil embriones congelados y no en el útero de las vacas (Chauvet *et al*, 1992).
- En 1998, bajo el Programa Nacional de Solidaridad (Pronasol), se regalaron cuatro mil trasplantes con el objetivo de difundir esta tecnología. Sin embargo, no se observaron

respuestas satisfactorias además de que los beneficiarios, en general, fueron los grandes productores, pues los pequeños no siempre tenían sus vacas en las mejores condiciones. Esta donación no provocó una demanda mayor de embriones, tan sólo la expectativa de que se diera otra donación gratuita.

- En cuanto al aspecto técnico, aún no se practicaba una ingeniería genética avanzada que permitiera garantizar el sexo del producto y tampoco se había generado la clonación de embriones.
- Para la reproducción del hato imperaban las prácticas tradicionales de monta directa o inseminación artificial.

Todos estos factores contribuyeron a que el Centro fuera cerrado y que el trasplante de embriones se practicara únicamente como una decisión individual del productor lechero.

La hormona de crecimiento para la producción de leche

En forma natural, las vacas producen una hormona llamada somatotropina bovina. Tiene el papel de distribuir el alimento hacia las funciones básicas del cuerpo, como son el crecimiento y la lactancia. A principios de los años ochenta, el gen natural que gobierna la síntesis de la hormona en vacas fue aislada y clonada por una empresa biotecnológica norteamericana *Genentech*. Desde 1982 fue posible producir grandes cantidades de esta hormona a través de una bacteria genéticamente modificada que recibe el nombre de somatotropina bovina recombinante (rBST por sus siglas en inglés).

Cuando se administra la hormona en las vacas que están lactando, los resultados son un incremento aproximado de la producción del diez al quince por ciento. Los aumentos en productividad varían considerablemente dependiendo del estado particular del hato ganadero, son mayores cuando se tiene un buen manejo y una eficiente alimentación, ya que las vacas tratadas con la rBST demandan porciones mayores de alimento.

A partir de las oportunidades comerciales de la hormona, cuatro grandes compañías farmacéuticas iniciaron la investigación y desarrollo de programas para la comercialización de este producto. Monsanto, American Cyanamid, Eli Lilly y Upjohn, competían por los derechos comerciales de la rBST. (Otero *et al*, 2008). El 5 de Noviembre de 1993, la FDA dio su aprobación a Monsanto para la comercialización de la rBST bajo el nombre de Posilac. Este hecho levantó protestas cuando se descubrió que tres empleados de la FDA tenían relación con Monsanto, justo en el momento del desarrollo de Posilac. Este producto salió a la venta en Estados Unidos a partir del 3 de febrero de 1994.

Algunos países como Australia, Nueva Zelanda, la Unión Europea, Japón y Canadá prohibieron el uso de la hormona. Canadá lo hizo en respuesta a un incremento de la ocurrencia de mastitis en las vacas que estaban lactando y que fueron tratadas con la droga. Lo que tienen en común estas naciones es que son altas productoras de leche y sus derivados. Sin embargo, en aquellos países con déficit de producción, la rBST fue rápidamente aceptada, como es el caso de México (Otero *et al*, 2008).

Esta aplicación de la biotecnología moderna se desarrolló en Estados Unidos, sin embargo, fue introducida en el ganado lechero mexicano antes que en la producción lechera de ese país. En efecto, desde 1990 se utiliza en los hatos ganaderos de México. Las consideraciones para su autorización respondieron al hecho de que México era el primer país importador de leche en polvo en el mundo, el 39 por ciento del consumo nacional provenía de las importaciones. Este déficit en la producción, con una laxa regulación en bioseguridad y la ausencia de grupos de consumidores organizados, favoreció la introducción de la rBST en el país. Se tenía la expectativa de que, en un corto plazo, un gran volumen de leche se podría obtener con el mismo número de vacas y con ello habría una reducción de las importaciones. No obstante, esto no sucedió. En primer lugar porque el aumento de las importaciones era más bien resultado de la dinámica del mercado mundial de leche, que gozaba de subsidios a la exportación, lo cual generaba bajos precios contra los cuales los productores mexicanos no podían competir. Y en segundo lugar, por la política gubernamental que ejercía un control del precio para la leche fresca envasada en presentaciones de un litro, con el fin de subsidiar al consumidor (Chauvet y Ochoa, 1996).

El sector lechero mexicano es heterogéneo y se puede caracterizar por tres sistemas productivos: 1) el sistema especializado, que se localiza en las regiones templadas del centro y norte de México. Con una producción intensiva, la aplicación de tecnología moderna

y prácticas de manejo junto con alimentación con base en concentrados. 2) el sistema de doble propósito que combina la producción de carne y leche. El uso de tecnología moderna y de prácticas de manejo es escaso, y, por último, 3) el sistema estacional definido por la producción de leche durante la estación de lluvias. La tecnología moderna no existe y la productividad es muy baja (Chauvet y Ochoa, 1996).

El uso de la hormona se ha dado fundamentalmente en el sistema especializado, sin embargo, no se adoptó de manera generalizada porque el control sobre el precio de la leche hacía que este sistema fuera muy sensible a la inflación, que causaba el constante incremento del costo de los insumos. Los otros dos sistemas, por sus condiciones productivas, no pudieron beneficiarse del uso de la hormona, ya que se requieren cambios en el manejo del ganado, en la alimentación y en las condiciones sanitarias para obtener el pleno beneficio de este producto. Un efecto positivo no esperado que se encontró en aquellos ranchos donde se aplicó la hormona al hato fue el hecho de que permitió prolongar el periodo de lactancia en las vacas que en otras condiciones se hubieran enviado a sacrificio. La hormona se empezó a usar en Aguascalientes, en la Comarca Lagunera –que comprende municipios de Coahuila y Durango– así como en Querétaro.

Sin embargo, en la región de La Laguna, los productores de leche sugieren que la rentabilidad del uso de la hormona es cuestionable ya que para optimizar sus beneficios se requiere tomar en cuenta varios aspectos,

como la salud del animal, la fertilidad y la escala económica que hace rentable su uso. La evaluación de qué tan rentable puede ser el uso de la rBST se complica al comparar el aumento en los costos por el uso de la hormona, el alimento extra que hay que suministrarle a la vaca y el mayor empleo de medicamentos, puesto que al someter al hato lechero a una producción más intensiva, los problemas como la mastitis pueden incrementarse. La estrategia de mercado que se dio en La Laguna tuvo tres etapas: en la primera, Monsanto ofrecía asistencia técnica, regalos e incentivos para que fuera adoptado el uso de la hormona; el costo diario de cada dosis era de un litro de leche. En la segunda etapa, en el año de 1993, Elanco era la subsidiaria veterinaria de laboratorio farmacéutico Eli Lilly y entró al mercado con su propia marca de la rBST, y esto provocó una guerra de precios. Subsecuentemente, la efectividad del producto de Monsanto empezó a declinar. Finalmente, en la última etapa, Monsanto compró los derechos de venta de Elanco en México, dejó de vender su producto, y empezó a vender la de Elanco, poco después el precio se duplicó y llegó a ser el equivalente a dos litros de leche por vaca al día, con lo cual la hormona dejó de ser rentable (Otero *et al*, 2008).

En síntesis, la hormona de crecimiento para ganado lechero benefició a un pequeño sector de productores de leche del sistema especializado.

El algodón transgénico

La siembra de algodón transgénico es hasta ahora el caso de mayor éxito de la biotecnología agrícola en México, por los efectos que ha tenido en la producción, al reducir las aplicaciones de plaguicidas para combatir principalmente las plagas provenientes de gusanos y su efecto en los rendimientos al disminuir el estrés de la planta por la menor aplicación de plaguicida.

El cultivo del algodón se realiza, de manera comercial, en los estados de Sinaloa, Sonora, Baja California, Tamaulipas, Durango y Coahuila –en lo que se denomina La Comarca Lagunera– y en Chihuahua. En esta última entidad se produce el sesenta por ciento del algodón a nivel nacional.

Este cultivo tiene la propiedad de producir la fibra textil, pero, además, subproductos como el aceite. En las décadas de los cincuenta y sesenta, México era un fuerte exportador de algodón, sin embargo, con la aparición de fibras sintéticas, dicha fibra fue sustituida y como resultado se abandonó la actividad. No obstante, para los años noventa hubo un repunte en la demanda mundial de esta fibra natural y con ello se retomó la siembra de este producto.

Los principales problemas que enfrentan los agricultores de algodón son la inestabilidad de los precios, la comercialización, y, en ciclos recientes, la sequía para aquellas zonas productoras que no cuentan con riego. En efecto, la volatilidad de los precios lleva a tener una gran incertidumbre respecto de la recuperación de los

gastos y la obtención de beneficios junto con las dificultades que se presentan en ocasiones para poder comercializar su producción, debido a que los textileros mexicanos prefieren comprar la fibra en el mercado de Estados Unidos por las facilidades de pago que logran negociar, con lo cual reciben crédito de sesenta a noventa días, situación que los productores nacionales no pueden afrontar debido a los créditos que a su vez ellos tienen que cubrir, de manera tal que prefieren exportar su producto (Perea, 2013).

En la *Gráfica 4* se presenta la evolución que ha tenido la superficie sembrada de algodón y la producción, desde 1996, donde se reflejan las oscilaciones que ha tenido la actividad: sin embargo, el rendimiento por hectárea ha sido más eficiente, dado que la curva de producción va por encima de la de superficie desde el año 2000.

La fase piloto de siembra de algodón transgénico resistente a insectos se inició en el país en agosto de 1995, con el atributo de afectar al gusano rosado, al gusano bellotero y al gusano tabacalero. Estos materiales también pueden incidir en otras plagas, como el gusano soldado y el gusano perforador de la hoja, pero no tienen efecto contra el picudo del algodón, ni frente a insectos chupadores, por lo que para el control de estas plagas se requiere de la aplicación de insecticidas (González, 2004; Carrillo, 2004).

A este tipo de algodón se le denomina Bt por contener la toxina derivada del *Bacillus thuringiensis*. Entre las ventajas obtenidas está que el bioinsecticida se expresa en toda la planta, con lo que se protege a las

GRÁFICA 4. MÉXICO: SUPERFICIE SEMBRADA
Y PRODUCCIÓN DE ALGODÓN (1996 -2013)



Fuente: SIAP, 2013; Perea, 2013

partes de difícil acceso para los insecticidas convencionales que no pueden acceder a ciertos sitios, se requiere de menos aplicaciones con el consecuente ahorro en insumos y mano de obra. Sin embargo, el hecho de que la toxina esté de forma permanente durante todo el ciclo agrícola genera la aparición de resistencias (González, 2004).

Cuando los OGM ejercen una presión de selección sobre los organismos plaga, se espera una respuesta de sobrevivencia llamada resistencia, el riesgo de que se presente ésta sucede cuando hay una penetración de la semilla transgénica en más del cincuenta por ciento de

la superficie sembrada, y que se dé una alta expresión de la toxina durante todo el desarrollo de la planta y en todos sus tejidos. “La mejor receta para desarrollar resistencia consiste en usar el mismo insecticida siempre y a dosis altas. Dicha condición la cumplen perfectamente los OGM’s” (Rodríguez, 2007). La medida para mitigar la aparición de resistencias es el establecimiento de refugios que son áreas donde se planta la semilla convencional y no se hacen aplicaciones de insecticidas, de esa manera los insectos susceptibles a la toxina, se pueden aparear con los pocos resistentes que sobrevivan del área sembrada con algodón transgénico y así se diluirá la resistencia en la siguientes generaciones. Es por ello que se ha establecido que por cuarenta hectáreas sembradas con algodón *Bt*, se siembren diez hectáreas de refugio, no obstante, esta práctica no se ha respetado en algunas de las regiones donde se siembra el algodónero (González, 2004).

El algodón resistente a insectos tiene como nombre comercial Bollgard®, pero también se ha introducido la semilla de algodón resistente a herbicidas con la marca Bollgard Solución Faena®, ambas de la empresa Monsanto, la cual ahorra al agricultor el paso de maquinaria y se logra un efectivo control de la maleza. Con este tipo de semillas se han reducido de 10 a 5 las aplicaciones de plaguicidas y de 13 a 3 aplicaciones de herbicidas (Carrillo, 2004; AgroBio, 2013).

Si bien en México se cultiva algodón genéticamente modificado desde hace 18 años, fue hasta 2010 cuando el Gobierno Federal permitió la primera siembra

comercial. Monsanto obtuvo la autorización para liberar la semilla en nueve mil 500 hectáreas de las regiones algodonerías de Chihuahua, Coahuila y Durango. No obstante, desde las etapas experimental y piloto, las empresas biotecnológicas han sembrado áreas mayores, porque las distintas fases estipulan las condiciones para la liberación, pero no establecen límites a la superficie. En 2008, en fase experimental, se le permitió a Bayer la liberación en treinta mil hectáreas y a Monsanto en 18 mil 152 hectáreas en Chihuahua, por mencionar algunos ejemplos (Mendoza, 2013).

Para el 2011, el 85 por ciento de la superficie sembrada de algodón era transgénica, (Bosque, 2012) con lo cual surge la inquietud sobre la omisión en el cumplimiento del protocolo de establecer refugios y con ello el surgimiento de resistencias que lleven a reducir la eficacia de la semilla y coloquen en una situación desventajosa a los productores. Por tanto, resulta necesario dar seguimiento y evaluar los resultados, pero el inconveniente que se presenta es que, una vez autorizada la siembra comercial, ya no hay mecanismos que permitan supervisar o regular el cultivo.

La adopción de la semilla transgénica fue rápida: además de las ventajas mencionadas que la tecnología ofrece –por los apoyos gubernamentales asociados como el pago de cerca del cincuenta por ciento del sobre precio de la semilla transgénica–, la asistencia técnica, el control de plagas, la eliminación de socas y cultivos abandonados. Es importante señalar que el precio de la semilla biotecnológica no es el mismo para

todas las regiones, y por ello la estrategia de Monsanto consistió en fijar el precio en función de la incidencia de las plagas. En aquellos lugares en que la tecnología resultaba menos efectiva, el sobreprecio era menor (González, 2004).

Si bien a nivel del agricultor se pueden enumerar ventajas socioeconómicas por la adopción de esta biotecnología, el caso del algodón transgénico despliega serias inquietudes en otros niveles, como las afectaciones a organismos no objetivo que rompan con las características de ecosistema; la contaminación de variedades silvestres, dado que México es centro de origen del algodón, y las afectaciones al ambiente o a la salud por el uso masivo del glifosato.

La vulnerabilidad de las variedades nativas se debe a la ausencia de estrategias de protección frente a fenómenos como la dispersión del gen a través de diversos mecanismos, por ejemplo, la causada por semillas arrastradas por agua corriente y polen dispersado por el viento; la alimentación del ganado con semillas de algodón GM, que son importadas vía terrestre y transportadas en todo el país sin ningún control; los vehículos, que no son adecuados para el traslado de los materiales, y los lugares donde se almacena la semilla, que son abiertos; por tanto, es necesario tomar las medidas precautorias para evitar que se sigan contaminando los algodones nativos. Se requiere de estudios ecológicos de las poblaciones silvestres y realizar simulaciones de los posibles escenarios de migración, selección natural y deriva génica (Wegier, 2013).

La reducción de las aplicaciones de insumos químicos es un aspecto positivo, pero de ninguna manera éstas se han eliminado por el uso del algodón transgénico, pues, como ya se mencionó, éste no combate todas las plagas y por ello es necesario el uso de plaguicidas muy tóxicos, como el insecticida Malathion,² para el picudo del algodnero; Endosulfan, para la conchuela, el cual había sido prohibido en 47 países por ser altamente tóxico. El Paratión, Metílico y Cipermetrina, para la mosca blanca. Estos productos de alta toxicidad para seres humanos, animales y ambiente, tienen además el inconveniente de su larga persistencia. Para 2011, todos ellos seguían utilizándose en los campos de algodón (Consejo Nacional, 2011). En ese sentido, es importante que para los gusanos se hayan reducido las aplicaciones de plaguicidas por el uso de la semilla GM, no obstante, el monocultivo también es perjudicial por el uso excesivo del glifosato. En el siguiente capítulo se profundiza al respecto.

² La hoja de seguridad de la empresa BASF, que es el fabricante, dice: “Inflamable. Nocivo en contacto con la piel y por ingestión. Nocivo: si se ingiere puede causar daño pulmonar. Muy tóxico para los organismos acuáticos, puede provocar a largo plazo efectos negativos en el medio ambiente acuático”.

La papa

El caso de este cultivo y el de la papaya, que es el siguiente caso por analizar, tienen que ver con proyectos desarrollados en el Cinvestav, Unidad Irapuato. La relevancia de éstos radica en que se trata de una tecnología endógena, desarrollada en un centro público de investigación y dirigida a solucionar los problemas agroeconómicos de los productores nacionales. En el área de investigación sobre los impactos sociales de la biotecnología, del Departamento de Sociología de la UAM, se han realizado evaluaciones *ex ante* sobre estos proyectos, y esto es así debido a que no han llegado a una fase comercial; sin embargo, los casos han sido estudiados con profundidad y se ha publicado un libro por cada uno, que el lector interesado puede consultar (Chauvet *et al*, 2004; Chauvet *et al*, 2012).

Como cultivo, en el año 2012, la papa ocupó el quinto lugar en el renglón alimenticio en la dieta de los mexicanos, después de maíz, frijol, trigo y arroz. Con un consumo anual *per cápita* de 16.2 kilogramos (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013).

La producción de papa en México se lleva a cabo bajo diferentes paradigmas tecnológicos, dependiendo de la fase de cultivo. En cuanto al insumo, que es la semilla, ésta se obtiene mediante semilla básica o minitubérculos por cultivo de tejidos en once laboratorios y diecisiete invernaderos (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013) que ofrecen plántulas de papa libre de virus y patógenos. La fase de siembra está marcada

por las técnicas conocidas como de Revolución Verde, que consisten en el uso de productos químicos tales como herbicidas, plaguicidas, fertilizantes y el empleo de maquinaria. Por último, la cosecha se realiza manualmente por jornaleros.

En el 2012, el destino de la producción fue de 56 por ciento para consumo en fresco; 29 por ciento para uso industrial, y 15 por ciento para la siembra.

Debido a las condiciones climatológicas prevalecientes en el país, se produce papa durante todo el año, en veintidós estados, desde el nivel del mar hasta altitudes superiores a los 2 500 msnm., bajo riego y temporal, en los ciclos de primavera-verano y también en el de otoño-invierno; incluso en otros, se produce en los dos ciclos. Las siete entidades productoras principales son: Sonora, Sinaloa, Veracruz, Nuevo León, Estado de México, Puebla y Chihuahua, que registraron para 2012 un volumen de producción de 1 801 618 de toneladas, que representan 78 por ciento de la producción nacional (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013).

Las importaciones de papa fresca representan un riesgo fitosanitario debido a que hay plagas cuarentenarias reportadas en Estados Unidos que no existen en México; la compra a Estados Unidos de papa procesada ha venido creciendo, por lo que es una meta del sistema productor incursionar en la industrialización de la papa, con el fin de disminuir las importaciones (Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013).

Los sistemas de producción de papa en México son dos, el moderno y el tradicional. El primero cuenta con

riego y semilla certificada, además de que se realiza en grandes superficies. El segundo carece de un mercado formal de semilla, las tierras son de temporal y se cultiva en pequeñas parcelas. En algunas regiones, debido a las condiciones climatológicas es éste el único cultivo posible, como es el caso de las zonas de sierra. Es la segunda hortaliza en importancia, con veinte variedades comercializadas, aunque la que predomina es la papa blanca Alfa, seguida de las variedades Marciana, San José y Galeana, estas tres últimas son de cáscara color rosado.

Para poder dimensionar el aporte de una semilla transgénica de papa es pertinente conocer los problemas agronómicos asociados al cultivo. El productor de papa enfrenta distintas plagas y enfermedades de la planta, éstas pueden provenir de hongos, bacterias, virus y nemátodos. El tizón tardío es una de las más importantes, y es causada por un hongo que afecta a hojas, tallo y tubérculos. Las causadas por bacterias provocan sarna común y pierna negra. En cuanto a los virus, son tres los que enferman a la papa: virus del mosaico latente (PVY), virus del mosaico rugoso (PVX), y virus del enrollamiento de la hoja (PRLV); éste último es el más común y puede acarrear pérdidas de hasta el noventa por ciento del cultivo. Los virus se transmiten por semilla infectada y por áfidos que sirven como transmisores. El tubérculo de papa es al mismo tiempo semilla y producto, de ahí la importancia de la sanidad, ya que la semilla guarda el perfil fitosanitario que tuvo durante su ciclo vegetativo y por ello, en caso de que

ésta no se encuentre sana al momento de sembrarla, resulta fácil la propagación de enfermedades en la etapa del cultivo. La producción de papa en México, con el 0.5 por ciento de la superficie cosechada de la agricultura, requiere del veinte por ciento de los pesticidas (Chauvet *et al*, 2004).

La micropropagación permite producir millones de plantas sanas en periodos más cortos; también facilita el intercambio internacional sin tener que pasar por cuarentenas, y, además, estas plantas pueden ser multiplicadas rápidamente en cualquier época del año (Lago, 1992).

La empresa Monsanto sacó al mercado en 1996 una papa genéticamente modificada con el gen *Bt* resistente a insectos y en forma posterior, dos más resistentes a los virus PVY y PLRV, sin embargo, el éxito no fue el esperado debido a la respuesta de los consumidores, que llevó a las principales compañías productoras de alimentos y de cadenas de restaurantes de comida rápida a rechazar el uso de papas genéticamente modificadas. Por ello, en marzo de 2001 la compañía Monsanto anunció que estos productos serían discontinuados para dedicarse a producir cultivos más rentables (Chauvet *et al*, 2004).

En enero de 1991 se inició un proyecto de colaboración entre Monsanto y un centro de investigación público mexicano, el Centro de Investigación y Estudios Avanzados, Unidad Irapuato para introducir genes de la cápside viral a los virus PVX y PVY en variedades de papa. Las negociaciones fueron mediadas por ISAAA

(International Service for Acquisition of Agri-Biotech Applications). Inicialmente en el proyecto se transformaron variedades de papa blanca, en particular la alfa, dado que no competía con las variedades estadounidenses; no obstante, se negoció que los proyectos incluyeran las variedades de color y también la introducción de la resistencia al virus del enrollamiento de la hoja. Como resultado de estos convenios se llegó al acuerdo de trabajar con las variedades Alfa, Rosita y Norteña, estas dos últimas de color (Chauvet *et al*, 2004).

Las expectativas que generó el proyecto fueron:

1. **Productividad:** se esperaba un incremento en la producción de papa al controlar las enfermedades virales. Al estar incorporada la tecnología en la semilla se tendría la capacidad de alcanzar a todo tipo de productores y de producir un impacto en todos los niveles.
2. **Ambiente:** se anticipaba un impacto ambiental potencial, porque decrecería la necesidad de realizar fuertes aplicaciones de insecticidas que son comunes en algunas áreas donde se cultiva la papa. Lo anterior reduciría los costos de producción y representaría una contribución a la agricultura sustentable.
3. **Transferencia de tecnología:** el proyecto podría ser considerado como programa piloto y un modelo único para explorar los mecanismos que podrían facilitar a los países de menor desarrollo el acceso a tecnologías propiedad de la industria agro biotecnológica.
4. **Procedimientos de bioseguridad:** el proyecto representaba un vehículo que facilitaría el establecimiento de procedimientos regulatorios y el desarrollo de guías de bioseguridad

para probar e introducir la tecnología de ADN recombinante en México.

5. **Entrenamiento de personal:** el proyecto era una oportunidad para que científicos mexicanos se capacitaran en instalaciones de Monsanto y regresaran a su centro de investigación para establecer las metodologías aprendidas.

Sin embargo, sólo las dos últimas se cumplieron porque para los productores agrícolas no basta con la semilla, sino que se requiere de asistencia técnica que capacite al productor en cuanto el nuevo manejo de agroquímicos utilizados, sin ésta no pueden obtenerse los beneficios ambientales esperados y tampoco es posible esperarse un incremento de la productividad sólo por esta vía. Otra consideración importante estuvo relacionada con los mecanismos para hacer llegar la semilla transformada a los distintos tipos de productores.

Los grandes productores participan de mercados formales de semilla, pero en el caso de los pequeños productores, ellos no concurren a este tipo de mercados, sino que el intercambio se da entre productores de manera informal, por lo que nunca quedó claro de qué forma se les harían llegar las semillas transformadas a los pequeños productores (Chauvet *et al*, 2004).

Los recorridos que se hicieron por las comunidades paperas de pequeños productores en la sierra de Puebla revelaron que éstos consideraban más apremiantes otros problemas relacionados con la comercialización de la papa, que la presencia de los virus.

El proyecto brindó a los investigadores conocimiento y entrenamiento respecto de una tecnología de vanguardia, sin embargo, los mecanismos de transferencia de tecnología no fueron adecuados ni eficientes, lo que llevó a que la semilla de papa transgénica nunca pasara de la etapa piloto por lo tanto no se benefició a los productores. Como punto adicional, se careció de un conjunto de agentes que contribuyeran al desarrollo y difusión de la nueva tecnología. Este tipo de proyecto no puede dejarse a las diversas fuerzas del mercado, ya que se trata de mercados en formación, en donde el involucramiento de nuevos actores que realizan nuevas actividades debe ser resultado de la promoción, al menos para los pequeños productores, por parte del gobierno.

La papaya

La aplicación de la biotecnología al cultivo de la papaya está referida a la obtención de una variedad a la que se le ha modificado su genética a fin de conferirle resistencia al virus de la mancha anular, cuyo nombre en inglés es Papaya Ring Spot Virus (PRSV). El proyecto empezó en 1995, a iniciativa de los productores de papaya del estado de Tabasco y estuvo a cargo de la doctora Laura Silva Rosales, quien además de desarrollar una semilla resistente al virus, logró identificar seis de sus variantes asociadas a las zonas fisiográficas de México. Posteriormente, en colaboración con el doctor Salvador Guzmán, de la Universidad de Colima,

se llegaron a probar estas semillas en una fase piloto (González y Chauvet, 2013).

La producción de papaya en México destaca a nivel internacional dado que es el primer país exportador de este fruto, aunque su único mercado es Estados Unidos. Las principales entidades productoras son: Veracruz, Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Colima, Michoacán, Yucatán, Jalisco, Campeche y Tabasco. La variedad Maradol es la que domina porque sus características favorecen la comercialización debido al tamaño de la fruta y a que resiste el rudo manejo. Se ha presentado un debate sobre la consideración de México como centro de origen de la papaya (*Carica papaya L.*) ya que para algunos autores proviene del sur de México y de Centroamérica, pero para otros ha sido solamente centro de domesticación (Chauvet *et al*, 2012). Lo anterior le imprime a dicho producto un atributo especial que debe ser tomado en cuenta ante una potencial liberación al ambiente de una papaya transgénica.

Las enfermedades virales son la causa de grandes pérdidas en la agricultura mundial por lo que existe en ese sentido un interés especial para buscar soluciones, ya sea de tipo convencional, como sería el control químico, o mediante la biotecnología (Chauvet *et al*, 2012) (González y Chauvet, 2013). Para esta última se han constituido diversas redes de investigadores, de las cuales la del doctor Gonsalves ha sido la más exitosa, debido a que permitió recuperar la producción de papaya en Hawái, Estados Unidos, mediante la generación de una papaya transgénica resistente al virus de la

mancha anular. El otro país donde se cultiva la papaya transgénica es China. No obstante, en catorce países se han desarrollado proyectos biotecnológicos semejantes, pero que no han llegado a la etapa comercial por diversas razones, aunque lo cierto es que “la puesta a punto de una tecnología, su adopción y difusión generalizada, su promoción y regulación son actividades de un proceso que dista de ser lineal, pues requiere interacciones en doble vía en las que participen nuevos actores con capacidades que no son las mismas que se requieren en investigación”. (Chauvet *et al*, 2012: 64).

La producción de papaya se realiza fundamentalmente en dos tipos de huertas: las de los grandes productores, que cuentan con la asesoría técnica y la supervisión de sus plantas, con lo cual pueden detectar la aparición del virus y erradicarlo antes de que provoque serios daños. Su perspectiva es que una planta sana y con un adecuado sistema de nutrición evita la severidad de la virosis y de las plagas para la papaya. Asimismo, es el sector que exporta este producto.

El otro tipo de plantaciones corresponde a los pequeños productores, quienes tienen superficies de una, dos o cuando mucho quince hectáreas, pero carecen de asesoría técnica y la presencia del virus les puede llegar a representar la pérdida total, debido que no cuentan con los recursos económicos para efectuar una estricta supervisión de las huertas y así poder contender con el virus. El destino de su producción es para el mercado interno.

En cuanto al abasto de semilla, una buena parte de los productores la obtienen de sus plantas, no

obstante hay empresas que distribuyen la semilla por todo el país.

El proyecto del Cinvestav fue exitoso en su etapa experimental y lo que se requería era continuar con el escalamiento de manera tal que fuera probada la semilla en los diferentes lugares en donde se cultiva la papaya. Para ello se solicitó financiamiento mediante la Cibio gem a Sagarpa, con la finalidad de seguir con esa investigación. Si bien en un inicio fueron los grandes productores quienes promovieron el desarrollo de esta innovación, ellos mismos frenaron la continuidad del proceso por así convenir a sus intereses. En efecto, para ellos el contar con una planta resistente al PRSV les permitiría tener un mejor control de los daños al fruto e incluso una disminución de costos, pero, por otro lado, una tecnología de esta naturaleza fomentaría la competencia de otros productores o la entrada de nuevos, con lo cual verían amenazado su mercado. Por tanto, se negaron a que en la convocatoria de investigación para proyectos relativos al sistema producto papaya se incluyera la transgénesis o cualquier otra técnica de la ingeniería genética (González y Chauvet, 2013). El temor a la pérdida del mercado de exportación puede ser una explicación de esta reacción.

La soya transgénica

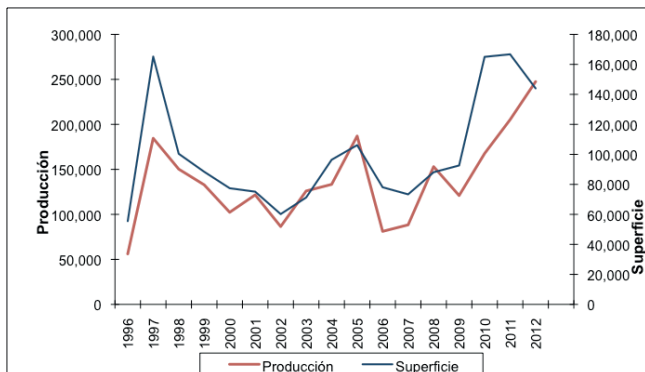
En México, el cultivo de soya surge en 1959, los principales estados que la cultivaban eran Sonora, Sinaloa y Chihuahua, su crecimiento fue, por dos décadas,

paralelo al auge de la ganadería mayor y menor, sin embargo, para 1986 se inicia su declive y en la década de los noventa se manifiesta una drástica caída por la pérdida de rentabilidad, aunado al cambio en la política económica que llevó a suplir la producción nacional con importaciones. En el periodo 1990-2001 se pasó de 285 615 ha a 73 726 ha (Ortega y Ochoa, 2003). Hoy en día, las tres entidades con mayor producción son Tamaulipas, San Luis Potosí y Veracruz, que para el año 2012 cosecharon 119, 672 ha (SIAP, 2013)

El cultivo de la soya transgénica empezó en 1999, en varias entidades, con pruebas experimentales hasta 2005 y piloto en 2010. En la región de Campeche la siembra fue de 781 hectáreas y para 2010 la superficie creció a 17660 ha, este estado junto con el resto que conforman la península de Yucatán es parte del territorio donde se autorizó a la empresa Monsanto, en junio de 2012, la liberación comercial de soya transgénica, para una superficie potencial de siembra de 253 mil 500 hectáreas, en diferentes entidades. El permiso incluye el uso de 13075 toneladas de semilla en Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Tamaulipas, San Luis Potosí, Veracruz y Chiapas (Perea, 2012).

En la península de Yucatán, para 2005, Quintana Roo y Yucatán sembraban una superficie muy reducida de soya, 450 ha y 13, ha respectivamente; sin embargo, para 2012 en el primer estado se cosecharon 1216 ha y, en Yucatán, 1221 ha.

GRÁFICA 5. MÉXICO: EVOLUCIÓN DE LA PRODUCCIÓN
Y SUPERFICIE DE SOYA (1996–2012)



Fuente: SIAP, 2013

La introducción de soya transgénica en la península de Yucatán representa un cambio ambiental en los ecosistemas de la región. La ampliación de la frontera agrícola para la siembra de soya implica reducir la superficie de selva. El cambio más radical consiste en la introducción y promoción del monocultivo, así como de las técnicas e insumos agrícolas asociados con este tipo de producto. Esto involucra a su vez repercusiones en el entorno regional y específicamente en las fuentes de alimento de las abejas, además de los posibles efectos sobre los elementos bióticos y abióticos.

La apicultura de la península de Yucatán ha sido afectada económica y socialmente por la siembra de

soya transgénica dado que, a partir del 16 de septiembre de 2011, la Unión Europea obligó a considerar al polen como un ingrediente de la miel y, por tanto, la presencia en ésta de polen transgénico deberá etiquetarse, con lo cual se pierde la cualidad de ser un producto orgánico. La exportación de noventa por ciento de la producción de miel es hacia el mercado europeo y el valor del mercado supera los trescientos millones de pesos al año.

Los comercializadores y productores de miel de la Península de Yucatán emprendieron una serie de acciones legales para impedir la siembra de la soya genéticamente modificada en esta región. El 10 de mayo de 2012 se publicó en el diario oficial del gobierno del estado de Yucatán, el decreto 525 que determina al territorio estatal libre de organismos genéticamente modificados.

El 15 de enero de 2014, el Parlamento Europeo modificó la directiva que consideraba al polen de plantas genéticamente modificadas como un ingrediente de la miel y lo estipula como un componente natural, y precisó que la miel con rastros de OGM superiores a 0.9 por ciento de la masa total debe ser sometida a un etiquetado particular, como lo estipula la legislación europea.

En México, el 7 de marzo de 2014, el Juzgado Segundo de Distrito del estado de Campeche otorgó un amparo en contra del permiso otorgado por la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) con el aval de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat)

para la siembra de soya genéticamente modificada en el estado de Campeche (Chim, 2014).

No obstante, la repercusión de la siembra de soya transgénica trasciende las consecuencias económicas y sociales hacia el mercado de la miel. La siembra de la soya GM, en particular la tolerante a glifosato, puede tener repercusiones como los reportados por Paganelli *et al*, (2010), donde han alertado sobre los efectos teratogénicos que pueden presentarse por inhalación e ingesta de este agroquímico. Otro aspecto por considerar es que dado el uso en grandes extensiones del herbicida utilizado durante el cultivo de soya transgénica, éste puede llegar al manto freático (CONABIO, 2012b). Lo anterior es muy relevante dado que el sistema de aguas subterráneas de la región es único en el mundo y, por tanto, es necesario realizar estudios *in situ* para conocer el comportamiento del herbicida.

Otro de los resultados derivados del análisis de riesgo de la liberación comercial de soya genéticamente modificada es su colindancia con áreas naturales protegidas: ocho, en la Península de Yucatán; dos, en la Planicie Huasteca y al menos cuatro áreas naturales protegidas, en Chiapas; además, de la posible generación de malezas (CONABIO, 2012b).

El maíz transgénico

El maíz es el cultivo agrícola más importante en México, no sólo por ser centro de origen y domesticación, sino porque es la base de la alimentación de su

población con un fuerte arraigo cultural y que le ha proporcionado identidad a los pueblos mesoamericanos (Brush y Chauvet, 2004; Antal, 2007; Bartra, 2001). El origen de su nombre proviene del Caribe y significa “lo que sustenta la vida” (FAO, 1993).

La cultura mesoamericana considera al maíz como elemento clave en el origen del hombre; de ahí el mote de los hombres del maíz a los pueblos mayas (FIRA, 1998; Esteva, 2003). Los significados mítico-religiosos del maíz han sido ampliamente documentados (FIRA, 1998; Pilcher, 2000; Esteva, 2003). Las diferentes comunidades étnicas del país tienen una variedad culinaria y determinados rituales religiosos que se sustentan en la variedad de maíces que conservan. La cultura prehispánica mantuvo un fuerte vínculo con la biodiversidad, en efecto, la estrecha relación con la naturaleza ha sido su principal característica.

Por la diversidad de maíces es impreciso referirse al maíz como si se tratara de un solo producto. En el caso de los países industrializados, el maíz lo conciben como un *commodity*, es decir, una materia prima a granel, sin embargo, en Mesoamérica se desagregan en una variedad de semillas que van a determinar sus usos.

El aprovechamiento de la planta de maíz va desde el uso del grano como alimento para diversos fines gastronómicos, hasta el empleo de las hojas para cubrir los tamales y el destino de los rastrojos para la alimentación animal. También se elaboran ciertas artesanías y con las cañas se construyen paredes y techos (FIRA, 1998; Esteva, 2003). Las festividades culturales y

religiosas en torno del maíz fortalecen el tejido social de las comunidades (Antal, 2007; Barajas y González, 2013). Empero, la finalidad básica de la producción y oferta del maíz consiste en satisfacer el consumo alimenticio humano, en esencia las tortillas. Se han registrado hasta seiscientos platillos con base en el maíz (Bourges y Lehrer, 2004; Bourges, 2013).

Centro de origen y domesticación del maíz en México

A partir de los estudios realizados por Nikolai Vavilov (Mooney, 1979), fue posible determinar que los cultivos que presentan mayor diversidad son aquellos que la humanidad conservó por largos periodos de tiempo. De esta forma, se ubicaron los centros de origen de diversas plantas. Por ejemplo, en Centroamérica y el sureste de México se estableció el origen del chile, la calabaza, el frijol, la papaya, el algodón, el tabaco, el cacao, y el maíz, entre otros cultivos.

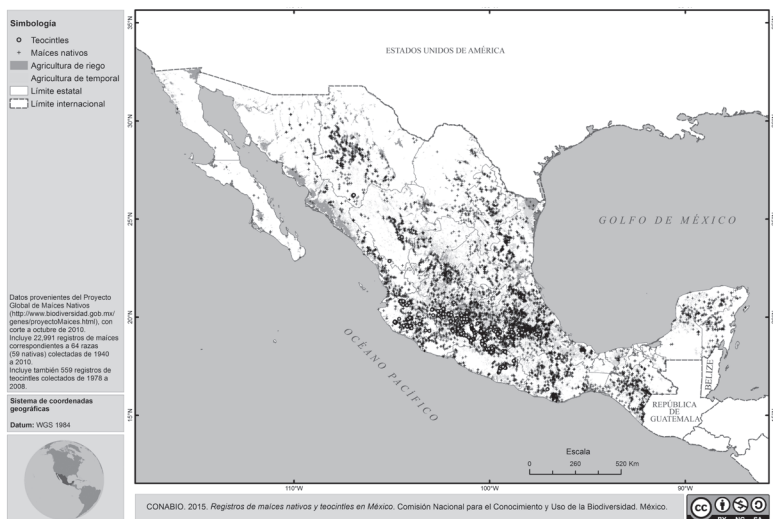
Durante el surgimiento de la agricultura se domesticaron gran cantidad de plantas y éstas sufrieron cambios genéticos extraordinarios en relación con el desarrollo propio de las plantas silvestres. En el caso del maíz (*Zea mays L.*), hay evidencia de que fue domesticado en Occidente y su uso no fue sólo como alimento, sino también como moneda y en festividades (Reyes, 1990).

En el caso de México, la domesticación del maíz ha permitido que se cultive en una amplia distribución geográfica, que va desde los 2 900 msnm hasta la costa (Aguilar *et al*, 2003; FIRA, 1998). En cuanto a la diversidad

de maíces, no hay acuerdo entre los especialistas sobre el número de razas que existen en México. Wellhausen *et al*, describieron 32, Ortega *et al*, consideran 41 y Sánchez *et al*, suman 59 (Ortega-Packsa, 2003: 132-133). De 2006 a 2010, la Comisión Nacional para el Estudio y Aprovechamiento de la Biodiversidad (CONABIO) con la participación de 235 personas y setenta instituciones se abocó a recopilar, sistematizar e integrar el conocimiento existente en torno de la diversidad de maíces nativos y sus parientes silvestres en el país, considerados éstos en su conjunto, se confirmó que son 59 razas. El consenso que sí existe entre los investigadores es que la conservación de dicha diversidad se debe al trabajo de varias generaciones de campesinos e indígenas que las han seleccionado, mejorado y adaptado a las condiciones geográficas y ambientales tan heterogéneas que existen en el país (Bellon y Risopoulos, 2001; Ramos, 2003; Ortega-Packsa, 2003; Aguilar *et al*, 2003; CONABIO, 2010; Lazos y Chauvet, 2010).

En el mapa siguiente se puede apreciar la ubicación de los maíces nativos y silvestres de las recientes colecciones del Proyecto Global de Maíces.

MÉXICO: UBICACIÓN DE LOS MAÍCES NATIVOS Y SILVESTRES



Fuente: CONABIO, 2012a. Vínculo a mapa con mayor detalle: http://www.casadelibrosabiertos.uam.mx/contenido/contenido/biotecnologiaysociedad/Mapa_ubicacion_maices.pdf

Las características descritas hacen del maíz un cultivo muy distinto si se trata de la agricultura empresarial o de la agricultura familiar, por ello son diferentes las implicaciones de la siembra del maíz GM en función del tipo de agricultura que se trate.

Implicaciones de la siembra de maíz transgénico

Los maíces transgénicos que están disponibles en el mercado tienen las características de resistencia a

insectos, herbicidas o ambas a la vez. El maíz *Bt* es resistente al gusano cogollero y el otro, al herbicida glifosato.

La agricultura empresarial destina su producción al mercado y basa el cultivo del maíz en un paquete tecnológico que incluye semillas mejoradas, el uso de maquinaria, insumos químicos, disponibilidad de riego o tierras de buen temporal y asesoría técnica. El propósito de lograr una alta productividad favorece el establecimiento del monocultivo con el consecuente deterioro de los recursos naturales. Este sector es potencialmente el que estaría en condiciones económicas de emplear los maíces transgénicos, sin embargo, estos productores sólo representan cerca del veinte por ciento del total de agricultores que cultivan maíz.

Este modelo productivo ha generado una severa dependencia tecnológica hacia las empresas semilleras, ya que el productor tiene que adquirir año con año la semilla; esta práctica continuará con las variedades transgénicas, aunque a un mayor precio por ser una tecnología distinta y ello repercutirá en los costos del productor y, por tanto, en la rentabilidad de su inversión. La evaluación que hay que hacer es saber si el precio de la semilla compensa o no los gastos en plaguicidas o en herbicidas, pero por ahora las compañías biotecnológicas no han proporcionado una cifra de cuál sería el porcentaje de aumento respecto de una semilla híbrida convencional. Además, las semillas GM no inciden en la productividad dado que éstas no dependen de un solo gen, son variables múltiples que entran en

juego para lograr que el maíz dé un mayor rendimiento de volumen por hectárea cosechada (Alavez *et al*, 2013; Castañeda *et al*, 2014).

Otra implicación derivada de lo anterior es el acceso que los productores puedan tener a materiales de siembra no transgénicos, porque las empresas ofrecen al mercado sus semillas en función de sus estrategias comerciales y no de las demandas de los agricultores, con lo cual dependen de lo que éstas determinen y queda coartado su poder de decisión de elegir sembrar o no sembrar el maíz transgénico (Chauvet y Lazos, 2014).

La agricultura familiar tiene como prioritario el autoconsumo y si llegara a haber excedentes, éstos son vendidos. Su abasto de semilla proviene de la cosecha anterior o del intercambio con otros productores, pero no es mediante la compra; predomina el uso de animales de trabajo o la renta de equipo, el acceso al agua es escaso y más bien dependen del régimen de lluvias, asimismo el asesoramiento técnico es limitado. Este segmento de agricultores comprende el ochenta por ciento del total (Ávila *et al*, 2014; Lazos, 2014).

El maíz transgénico no hace falta, pues no se trata de un cultivo amenazado severamente por plagas que diezmen las cosechas y en cambio, sí implica un riesgo ambiental grave por tratarse de una planta de polinización abierta que facilita el flujo de genes entre los maíces y, por tanto, las características del transgénico pueden pasarse a las distintas variedades, lo que da como resultado la pérdida de las características propias de los maíces nativos (Chauvet *et al*, 2014). Sin embargo,

la amenaza no es sólo de alteración de la información genética contenida en la semilla, sino que una consecuencia de carácter social es el riesgo que corren los productores ya que pueden ser sancionados por la presencia en sus maíces de transgenes protegidos por derechos de propiedad intelectual y, como resultado de esta circunstancia, verse implicados en una demanda por parte de las compañías semilleras (Castañeda *et al*, 2014). En Canadá ya se suscitó un caso de un productor de canola, el señor Peter Schmeiser que fue demandado por Monsanto (Schmeiser, 2005).

Del maíz resistente al herbicida se ha argumentado que su uso es una medida de menor impacto ambiental en comparación con los insumos químicos que se emplean actualmente, los cuales son conocidos como *Roundup Ready*. En efecto, la tolerancia al denominado glifosato, por parte del maíz o de la soya transgénica, suple la liberación al ambiente de otros componentes químicos más tóxicos, no obstante, no es tan inocuo cuando su uso es masivo y en cantidades crecientes. Hay estudios sobre los efectos a la salud de este componente dado que pasa a la cadena alimentaria tanto por medio de los cultivos como del agua. En Canadá se reportó un estudio de cómo los componentes del glifosato y de la toxina Cry1Ab, que se encuentran en los alimentos producidos con cultivos transgénicos, son claramente detectables en la sangre de las mujeres embarazadas y cruzan la placenta hacia el feto. Los autores concluyen que dada la posible toxicidad de estos contaminantes en el medio ambiente y en el humano,

incluida la fragilidad del feto, se necesitan más estudios (Aris y Leblanc, 2011) que complementen lo que ya se sabe de los efectos a la salud de los agroquímicos. “Las nuevas tecnologías deberían tratar de reducir el uso de pesticidas y no aumentarlo, como ha sido el caso de muchas plantas genéticamente modificadas” (Mergler, 2014). Este hecho cuestiona la relación costo-beneficio desde el punto de vista de salud pública.

Tanto los maíces resistentes a insectos, como los tolerantes a herbicidas, tienen en el mercado más de una década y ya se reportan insectos que se han vuelto inmunes a la toxina *Bt* (Gassmann *et al*, 2014), o la proliferación de supermalezas que no se perturban por el glifosato (Kilman, 2010).

La Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados

En el segundo capítulo se planteó la importancia de la bioseguridad y de la regulación de los organismos genéticamente modificados liberados al ambiente, en este apartado toca conocer este proceso para el caso de México. La bioseguridad comprende

Las acciones y medidas de evaluación, monitoreo, control y prevención que se deben asumir en la realización de actividades con organismos genéticamente modificados, con el fin de prevenir, evitar o reducir los posibles riesgos que dichas actividades pudieran ocasionar a la salud humana o al medio ambiente y a la diversidad biológica, incluyendo los aspectos

de inocuidad de dichos organismos que se destinen para uso o consumo humano (LBOGM, 2005: 3).

Los antecedentes a la formulación de una ley de bioseguridad provienen de una serie de acontecimientos. De una parte, las empresas agro biotecnológicas y los institutos de investigación solicitaron a las autoridades competentes realizar evaluaciones a nivel experimental de cultivos transgénicos (Briseño, 2002), e incluso se llegó hasta la autorización a nivel comercial. En efecto, en 1995 se autorizó la siembra del tomate de madurez retardada de la empresa Calgene en Sinaloa³ y la siembra experimental de algodón Bollgard en Tamaulipas (González, 2004). Por otra parte, no hay que olvidar los compromisos que México adquirió al adherirse a la Convención de Diversidad Biológica, y que, a través del Protocolo de Cartagena, instó a los gobiernos a tener un marco regulatorio de la biotecnología y, por último, la presión social de grupos ambientalistas y de académicos.

Desde 1988 se venían aplicando algunos procedimientos de bioseguridad, sin embargo, es hasta 1996 que se emitió la NOM - 056 - FITO - 1995, norma que establecía los requerimientos para la movilización nacional, importación y establecimiento de pruebas de campo a nivel experimental de plantas genéticamente modificadas (González, 2004).

³ Este producto era para exportación, pero no tuvo aceptación en el mercado norteamericano, por lo cual fue retirado del mercado.

En abril de 1999, un grupo de investigadores de diez instituciones científicas, bajo la coordinación del CONACYT y la CONABIO, presentaron un documento a la Presidencia de la República sobre los organismos vivos modificados en la agricultura mexicana: desarrollo biotecnológico y conservación de la diversidad biológica. A partir de esta iniciativa, en noviembre de ese año se promulga el decreto de formación de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad y Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM) (D.O.F., 1999), que se convierte en el antecedente más formal de bioseguridad en México (CONACYT/CONABIO, 1999). Más adelante se detalla su función.

De 1999 a 2004 se presentaron cinco iniciativas de ley de bioseguridad de los diferentes partidos políticos: PVEM, PAN, PRD Y PRI, sin embargo, la propuesta de la Academia Mexicana de Ciencias fue la que finalmente conformó la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) aprobada el 18 de marzo de 2005 (Massieu, 2004; Massieu y San Vicente, 2006; Antal, 2007; Álvarez, 2009; Ávila, 2013).

No obstante, la LBOGM no es el único instrumento jurídico relacionado con la bioseguridad, en el siguiente *Cuadro* se presentan las leyes mexicanas que conforman el marco regulatorio de la biotecnología.

**CUADRO 3. CLASIFICACIÓN DE LAS LEYES MEXICANAS SOBRE
BIOTECNOLOGÍA**

Categoría	Criterio de clasificación	Leyes
Investigación	Promoción de la investigación en biotecnología y para la obtención de materia prima para la investigación (acceso a recursos genéticos con fines de investigación o con fines de manipulación genética o para utilización en biotecnología).	• Ley de Ciencia y Tecnología • Ley de Desarrollo Rural Sustentable • Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados • Ley de Promoción y Desarrollo de los Bioenergéticos • Ley de los Institutos Nacionales de Salud • Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables • Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente • Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable • Ley General de Vida Silvestre • Ley General de Salud
Comercio y Propiedad Intelectual	Protección de los derechos de propiedad intelectual derivados de la biotecnología (patentes y derechos de obtentor) y certificación, clasificación y comercialización de semillas.	• Ley de la Propiedad Industrial • Ley Federal de Variedades Vegetales • Ley Federal de Producción, Certificación y Comercio de Semillas

Bioseguridad	Protección de la salud humana, de la sanidad animal, de la sanidad vegetal, del medio ambiente y de la diversidad biológica.	• Ley General de Salud • Ley General de Sanidad Vegetal • Ley de Desarrollo Rural Sustentable • Código Penal Federal • Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados • Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente • Ley Federal de Sanidad Animal • Ley General de Pesca y Acuicultura Sustentables
Marco Administrativo	Regulan la administración pública federal, el pago por los servicios que prestan y complementan las otras categorías.	• Ley Federal sobre Metrología y Normalización • Ley Orgánica de la Administración Pública Federal • Ley Federal de Derechos

Fuente: Álvarez, 2009: 52.

La aprobación de la LBOGM estuvo caracterizada por serias tensiones entre diferentes grupos de interés y lo que más se ha criticado es el sesgo hacia el fomento y desarrollo de la biotecnología, más que a su regulación. En efecto, de la tabla anterior se desprende que son diez los instrumentos jurídicos relacionados con la promoción, y ocho los enfocados a la bioseguridad. Para ciertos actores sociales, el impulso a la investigación biotecnológica debería circunscribirse a la Ley de Ciencia y Tecnología y no formar parte de la bioseguridad. También se ha señalado que la LBOGM está más dirigida a la biotecnología agrícola, puesto que los OGM se utilizan en distintos ámbitos.

Las dependencias responsables de la bioseguridad son:

- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) mediante la Dirección General de Impacto y Riesgo Ambiental (DGIRA); el Instituto Nacional de Ecología (INE); la Comisión Nacional de Biodiversidad (CONABIO) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (Profepa).
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) a través del Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria (Senasica).
- Secretaría de Salud (SSA), por medio de la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios.
- Secretaría de Hacienda y Crédito Público que cuenta para ello con el Servicio de Administración Tributaria.
- Secretaría de Economía, a través de la Dirección de Industrias Básicas.

En la LBOGM, en su Capítulo III, se especifican las competencias de las diversas Secretarías: La Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y la Secretaría de Salud (SSA) trabajarán en sus respectivos campos de capacidades para aprobar o suspender permisos de liberación de OGM, entre otras actividades. La Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), por su parte, sólo tendrá como facultades, la importación de OGM y de productos que los contengan. La toma de decisión sobre la siembra de los cultivos transgénicos recae en lo fundamental en las dos primeras Secretarías, las cuales

tanto a nivel internacional como incluso nacional, la primera tiene una postura más en favor y la segunda de mayor cautela, debido a los efectos en el medio ambiente (Chauvet y Gálvez, 2005). Otro aspecto importante es la suspensión de permisos para liberar OGMS, sin embargo, las Secretarías competentes poseen esa facultad.

La SHCP cobra gran importancia porque de ella depende la entrada segura de los OGMS; por tal motivo, el personal encargado en las aduanas debe recibir una capacitación especial para detectar anomalías a la entrada de un OGM, contar con un alto grado de honestidad y de los instrumentos necesarios para evitar la entrada ilegal de cualquier material transgénico. No obstante, en el día a día, estos supuestos no se dan y con ello el marco regulatorio en materia de bioseguridad muestra un eslabón débil y lo más preocupante es que la ley no comprende los mecanismos punitivos para esta situación (Ávila, 2013).

Para los centros de origen y diversidad genética la LBOGM en su Art. 88, estipula que sólo se permitirá realizar liberaciones de OGMS cuando se trate de OGMS distintos a las especies nativas, siempre que su liberación no cause una afectación negativa a la salud humana o a la diversidad biológica. Sin embargo, este precepto –como se analizó en el caso del maíz– no se ha cumplido, ya que se han realizado liberaciones al ambiente, a nivel experimental y piloto de maíz GM, en Chihuahua, Tamaulipas, Sinaloa y Sonora, bajo el argumento de que en esos estados y en los polígonos autorizados no

hay presencia de maíces nativos. La CONABIO, en atención a la LBOGM realizó el Proyecto Global de Maíces Nativos para actualizar la información de maíces y sus parientes silvestres en México y contribuir a la determinación de centros de diversidad genética del maíz, en dicho estudio se dan a conocer las especies nativas que se siembran y cultivan en esas entidades (CONABIO, 2010; Lazos y Chauvet, 2010).⁴

El debate y la presión sobre los maíces nativos llevó a establecer en la ley un régimen de protección especial del maíz, pero al llegar a la elaboración del reglamento se cayó en una grave contradicción dado que su título décimosegundo, artículo 66, estipula lo que se tiene que cubrir para la liberación experimental de maíz GM, –¿es ésa la manera de proteger nuestros maíces?– Ésta ha sido y sigue siendo una práctica en nuestro país, el hecho de que al establecer las leyes secundarias y reglamentos que se derivan de una ley, éstos pueden contravenir e incluso contradecir lo estipulado en la ley correspondiente.

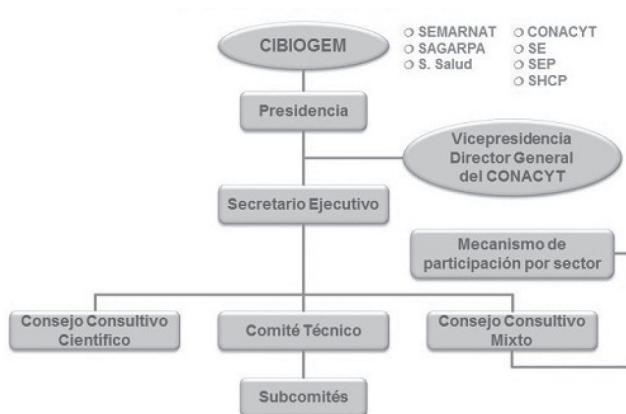
La ley supone que pueden existir riesgos no previstos o liberaciones accidentales de OGMS no permitidos y/o no autorizados al ambiente. Para dar solución a este problema, establece seis medidas: la clausura temporal, parcial o total de las instalaciones; el aseguramiento precautorio de OGMS; la suspensión temporal, total o parcial, de la actividad; la repatriación de OGMS a su país de origen; evitar que se continúen presentando

⁴ Ver mapa

los supuestos que motiven la imposición de la medida y la destrucción del OGM de que se trate, a costa del interesado, en caso de que los riesgos sean graves e irreparables (LBOGM, 2005).

La Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados debe formular y coordinar políticas en materia de bioseguridad, así como coordinar la participación a través de un Consejo Consultivo Científico, formado por académicos de diversas disciplinas, incluyendo a las Ciencias Sociales, y un Consejo Consultivo Mixto; este último, se integra por asociaciones, cámaras o empresas de los sectores privado, social y productivo. El diagrama es el siguiente:

Coordinación intersecretarial



Fuente: COFEPRIS, 2013.

Una reflexión final lleva a considerar positivo que México cuente con un marco regulatorio en materia de bioseguridad; sin duda, es un paso importante, sin embargo, no debe olvidarse que un aspecto es la cobertura de dicho marco y, otro, la observancia de las leyes, y ésta ha fallado como se verá en los casos que se presentan en el siguiente capítulo. La razón de esta situación obedece a que no basta con tener un conjunto de leyes y reglamentos, sino que se requiere capacidad de los actores, organización adecuada, complejidad institucional, además de recursos para llevar a buen fin lo propuesto.

Este recorrido por la agrobiotecnología en México, los cultivos en los que se aplica y su marco regulatorio, permite dar paso a los aspectos de debate y controversia en torno de los cultivos transgénicos en el siguiente capítulo.

IV. DEBATE EN TORNO DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA

Debate sobre los cultivos transgénicos

Las controversias sobre los efectos que pueden causar los cultivos transgénicos parten de opiniones divergentes respecto de sus repercusiones. Los beneficios anunciados por la industria biotecnológica son minimizados por los posibles riesgos que dichos cultivos pueden provocar en el medio ambiente o bien las repercusiones sociales de éstos en diversos sectores.

El combate al hambre en el mundo ha sido uno de los argumentos en favor de los cultivos transgénicos; se sostiene que la población va en aumento y, por tanto, la oferta de alimentos también tiene que crecer.

Este planteamiento sería correcto en la medida en que se presentaran dos premisas: una, que la agricultura transgénica se desarrollara no sólo para los cultivos comerciales de venta a granel, sino también para los cultivos básicos que consumen los pobres. No obstante, los transgénicos que se comercializan hoy día, como el maíz y la soya, son insumos para la alimentación del ganado y es sabido que la proteína animal está fuera del alcance de la población de bajos ingresos. Segundo, que las semillas transgénicas incrementaran el rendimiento de las cosechas, esto no sucede porque, como ya se mencionó, los atributos conferidos a los cultivos transgénicos tienen que ver con la resistencia a insectos o a herbicidas, en cambio, el incremento en la productividad es multifactorial y no está determinado por una sola variable. La confusión radica en equiparar productividad con rentabilidad; en efecto, el uso de semillas

transgénicas puede llevar a que el productor baje sus costos y por ende, su inversión sea más rentable por el ahorro en la aplicación de plaguicidas o el pago de mano de obra para el deshierbe de los cultivos, pero ello no incide en un aumento del volumen de producción, lo que explicaría, por otro lado, la aceptación de estos cultivos por parte de los productores.

Otro tema a debate es el relativo a la reducción en el uso de insumos químicos, si bien en cultivos como el algodón ha sido evidente la disminución en el número de aplicaciones de insecticidas, no se puede decir lo mismo de las semillas tolerantes al glifosato, que es un herbicida de baja toxicidad y que, a decir de Monsanto, “no presenta efectos nocivos sobre la fauna (mamíferos, aves), microfauna (artrópodos), ni sobre la salud humana, ni tiene efectos adversos para el ambiente, cuando es empleado correctamente para los fines previstos en su etiqueta” (Monsanto, s/f).

En lo que se refiere a los efectos a la salud, se han realizado investigaciones sobre los residuos del glifosato en los alimentos que causan una alteración extrema de las funciones y los ciclos de vida de los microbios. Este compuesto afecta *preferentemente* a las bacterias *benéficas*, permitiendo que los patógenos crezcan en exceso y ello puede ser la causa de algunas de las enfermedades crónicas de la actualidad (Samsel y Seneff, 2013). En cuanto a su impacto en las plantas, también se han encontrado efectos sobre comunidades microbianas y patógenos benéficos del suelo y en el surgimiento de resistencias que ha provocado la aparición de súper malezas.

Las investigaciones del doctor Seralini y de su equipo han continuado; en febrero de 2014 publicaron otro estudio

sobre la toxicidad de nueve pesticidas, incluyendo particularmente el *Round-up*, pesticida fabricado por Monsanto y de lejos el más utilizado en el mundo. Este artículo, aparecido en *Biomed Research International*, afirma que ocho de las nueve nuevas fórmulas probadas –cuya composición completa se mantiene en secreto por el fabricante– son mil veces más tóxicas que su ingrediente activo respectivo (Piron y Varin, 2015:247).

Estas investigaciones, junto con el reconocimiento de la oms sobre los efectos nocivos del glifosato, alertan sobre la urgente necesidad de realizar estudios más profundos sobre el consumo de alimentos transgénicos en el mediano y largo plazo.

Otras dudas que surgen son: ¿Qué sucede cuando el empleo no es correcto? ¿Qué se puede esperar en países donde los trabajadores agrícolas son analfabetos y no pueden conocer la información que viene en la etiqueta?

RECUADRO 4. EL POLÉMICO GEN *TERMINADOR*

La aplicación de la agrobiotecnología en la producción de semillas tiene la particularidad de que es en éstas donde se encierra la innovación; como es un organismo vivo que se reproduce, su descendencia conserva los atributos conferidos y de esa manera al multiplicarse transfiere los potenciales beneficios de la invención. Una manera de protegerla es con las patentes, sin embargo, las empresas productoras de semillas GM buscaron en la biotecnología misma el resguardo de su inversión. Éste es el caso de los genes conocidos como Tecnologías de Restricción del Uso Genético (TRUGS), también denominadas “Terminator”.¹ Éstas restringen el uso de una variedad vegetal, o la expresión de un rasgo en una variedad de plantas, por medio del encendido o apagado del gen. Actualmente hay dos tipos de TRUGS. El primero, restrictivo a nivel de variedad, diseñado para controlar la fertilidad de la planta o el desarrollo de la semilla. El segundo, conocido como un TRUG-t-rasgo específico permite que las plantas expresen un rasgo beneficioso (por ejemplo, resistencia a la sequía) sólo después de un tratamiento específico, tal como la aplicación de un spray especial. Sin éste no se expresaría el rasgo. Este tipo de TRUG no afectaría la fertilidad (CFIA, 2012).

Estas tecnologías tienen muy poco que ver con la necesidad de alimentar el mundo y sí mucho con la necesidad de las compañías de aumentar sus ganancias. Cuando los contratos firmados por los agricultores para no reproducir la semilla no fueron garantía suficiente, decidieron usar otras estrategias como las TRUGS (Bonnano, 2003). Al generar semillas estériles que no servirían para el siguiente ciclo agrícola, los productores debían comprar las semillas cada año garantizando las ventas y generando una dependencia continua.

La tecnología fue desarrollada en un inicio conjuntamente por el Departamento de Agricultura de EE.UU y Delta and Pine Land Company, una empresa algodonera que Monsanto adquirió posteriormente. Por las implicaciones de esta tecnología en las prácticas de los agricultores de conservar su semilla para la siguiente siembra y el controversial hecho de convertir en estéril a la semilla, la protesta social, de gobiernos e incluso de centros de investigación obligó, en octubre de 1999, al Director Ejecutivo de Monsanto, Robert B. Shapiro, a enviar una carta pública al Presidente de la Fundación Rockefeller, Gordon Conway para comunicarle su compromiso de no comercializar semillas con la tecnología Terminator. Este hecho fue calificado como una victoria de la sociedad civil en favor de la seguridad alimentaria.

No obstante, hay quienes sostienen que estas tecnologías podrían servir como una medida de bioseguridad al prevenir la propagación no deseada de las semillas y el polen GM.

¹ Estas tecnologías utilizan un gen terminador al que en inglés se le conoce como *Terminator*, de ahí que se hiciera la analogía con la película del mismo nombre.

Éxitos y fracasos de la biotecnología agrícola.

La aplicación de la biotecnología en el sector agropecuario ofrece grandes potencialidades que por ahora se han quedado atrapadas a nivel de laboratorio, no obstante, en la medida en que la investigación continúe siendo independiente y derivada de centros públicos de investigación, existe la posibilidad de responder a las demandas de los productores y consumidores. En 2001, la FAO señalaba que la biotecnología se había concentrado en beneficios para los productores y no hacia los consumidores; que ha sido un error táctico de la industria concentrarse en la resistencia a los plaguicidas como una de las primeras aplicaciones, ya que esto ha estimulado preocupaciones ambientales, y que definitivamente no se ha enfocado sobre las correctas prioridades de investigación que presentan grandes desafíos, aunque reconoció que la mayoría de los rasgos necesarios de agregar o modificar se rigen por múltiples genes, y eso impone limitantes (Fresco, 2001).

Por ahora, los éxitos comerciales de la agrobiotecnología están en manos de seis empresas biotecnológicas a escala mundial: Aventis, Bayer, Dow, Monsanto, DuPont/Pioneer y Syngenta, que por ser sector empresarial su búsqueda de ganancias en el corto plazo es indiscutible. En México, cinco de ellas están agrupadas en la asociación AgroBio y hacen promoción de sus productos mediante su página en internet, así como a través de diversas publicaciones (Solleiro, 2007; Solleiro y Castañón, 2013).

En México, los centros de investigación cuentan con personal calificado y equipos de trabajo cuyas investigaciones perfilan interesantes resultados. En un libro compilado y editado por el doctor Francisco Bolívar Zapata, en el que participan más de veinte biotecnólogos, se consignan las líneas de investigación y las posibles aplicaciones que pueden tener estos trabajos (Bolívar-Zapata, 2004), pero en la medida en que no haya una voluntad política por llevarlos a su fase comercial estos esfuerzos quedarán limitados a publicaciones y a la obtención de grados académicos.

Los fracasos o errores de la biotecnología agrícola a nivel comercial que se han publicitado son los siguientes:

1) El tomate Flavr Savr, que fue aprobado para la venta en 1994. Si bien ofrecía ventajas en cuanto a su madurez retardada, el sabor no fue calificado como bueno y se retiró del mercado.

2) En 1995, Monsanto completó los requerimientos regulatorios de EEUU para producir la papa NewLeaf, una variedad de Russet Burbank diseñada para controlar al escarabajo de la papa de Colorado. Sin embargo, un estudio del Instituto de Nutrición de la Academia de Ciencias Médicas de Rusia, 1998, mostró que las ratas que consumieron NewLeaf experimentaron daños considerables en sus órganos. Hacia el año 1999 los granjeros de EEUU habían plantado 20 234 hectáreas de papas NewLeaf, pero los resultados a nivel de salud junto con la negativa de las cadenas de comida rápida y de botanas para utilizar papas transgénicas eliminó su producción.

3) El maíz Starlink, una variedad transgénica de maíz amarillo diseñado para romper las células del estómago de las molestas orugas mostró una potencial reacción alérgica en humanos, por lo que la Agencia de Protección Ambiental de EEUU autorizó su uso exclusivamente para consumo animal o para la generación de combustible. A pesar de las precauciones, el nuevo maíz pasó a ser utilizado en la industria alimentaria. En septiembre de 2000, los estudios de una ONG mostraban la presencia de la proteína insecticida del Starlink en unas tortillas elaboradas para la cadena Taco Bell. La empresa Aventis CropScience tuvo que indemnizar a productores y almacenadores y retirar de los anaqueles hasta más de 300 productos diferentes que tenían ese tipo de maíz.

4) El maíz farmacéutico de Prodigene culminó con el cierre de la compañía. En el año 2002, en Nebraska, un agricultor sembró maíz farmacéutico de dicha empresa como parte de pruebas experimentales en campo, pero algunas plantas de maíz que quedaron en su terreno rebrotaron cuando ya había plantado una cosecha posterior de soya, luego cosechó todo junto inadvertidamente, y lo envió a un silo donde se mezcló con la producción de muchos otros agricultores, la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA) de Estados Unidos ordenó destruir 500 mil bushels de soya (13 609 toneladas), multó a la compañía con 250 mil dólares y obligó pagar a los agricultores 2.7 millones de dólares por la soya incinerada.

5) El arroz Liberty Link es otro caso de contaminación genética, Bayer AG pagó 750 millones de dólares a miles de granjeros de EEUU en 2011, luego de que las autoridades reguladoras determinaron que el arroz experimental Liberty Link, desarrollado por la compañía, había infestado los granos largos

convencionales. La contaminación Liberty Link no sólo causó una caída sustancial en la cotización del arroz, sino que una raza entera de arroz se perdió para siempre.

6) El trigo GM. En 2002 Monsanto presentó una solicitud para sembrar una cepa de trigo diseñada con la misma resistencia a los herbicidas de sus otros exitosos cultivos. Pero los cultivadores de trigo dieron marcha atrás porque los compradores extranjeros no estaban interesados y, además, temían a una posible contaminación de sus variedades.

El movimiento social anti transgénicos

Internacionalmente se sostiene un movimiento social en contra de los cultivos transgénicos por diversas organizaciones, ante la imposibilidad de nombrarlas todas, se mencionan las más sobresalientes: Greenpeace, GRAIN, el Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración (ETC), Amigos de la Tierra, Third World Network (TWN), la Unión de Científicos Preocupados de Estados Unidos, entre otras.

Para el caso de México, el movimiento social anti-transgénico se ha concentrado en lo fundamental: en impedir la siembra de maíz genéticamente modificado. Desde 1998, con el establecimiento de una moratoria a la liberación al ambiente del maíz GM, por parte de las autoridades competentes, hasta el primer semestre del 2015 se contabilizaron 17 años de lucha por parte de diferentes sectores de la sociedad organizada para detener la presión ejercida por parte de las empresas semilleras que buscan la siembra a nivel comercial de los híbridos

de maíz transgénico. En todos estos años han sido diversos los mecanismos y estrategias que han seguido diversas organizaciones y como es imposible presentar aquí la cronología de dichos acontecimientos, sólo se enumeran aquellas actividades que se más relevantes. Las investigadoras Rosa Elvia Barajas y Rosa Luz González no sólo hacen una cronología, sino que también analizan este movimiento y presentan sus logros y limitaciones (Barajas y González, 2013).

Las siembras experimentales de maíz transgénico en México se realizaron entre 1993 y 1998 en distintas regiones del país; sin embargo, para 1998, el Comité Nacional de Bioseguridad Agrícola (CNBA) estableció una moratoria y se suspendieron éstas, aunque no se limitaron las importaciones de maíz proveniente de Estados Unidos, que no separan el grano transgénico del convencional (Peralta y Marielle, 2013). En 1999, Greenpeace inició su campaña antim maíz transgénico.

En el año 2001 comenzó a difundirse información sobre la presencia de maíz transgénico en Oaxaca, a raíz de la evidencia encontrada en genes provenientes de maíz genéticamente modificado en variedades locales de ese estado, por los investigadores de la Universidad de California, en Berkeley, David Quist e Ignacio Chapela (Quist y Chapela, 2001). Sin embargo, no fue hasta el segundo semestre del 2001 que las autoridades reconocieron la contaminación de variedades locales de maíz con secuencias transgénicas (CCA, 2004).

En enero de 2002 el gobierno mexicano informó que en once comunidades los niveles de contaminación detectados eran de entre tres y trece por ciento, en tanto que en cuatro localidades se había registrado una contaminación mucho más elevada, de entre 20 y 60 por ciento. En las tiendas de DICONSA (dependencia del gobierno mexicano encargada de la distribución de alimentos), treinta y siete por ciento de los granos resultaron ser transgénicos (CCA, 2004:32).

A pesar de ello no hubo claridad en la información, ni interlocutores para resolver preguntas e inquietudes, así como tampoco definiciones claras de política pública (Larson y Chauvet, 2004), lo que llevó a los integrantes de las comunidades afectadas a tomar acciones concretas.

El 24 de abril de 2002, el Comité de Recursos Naturales de la Sierra Norte, junto con otras organizaciones,² solicitó a la Comisión para la Cooperación Ambiental de Norteamérica (CCA)³ un estudio sobre el impacto ambiental que pudiera causar la liberación de granos de maíz genéticamente modificados en la biodiversidad de Oaxaca y especialmente del maíz de esa región.

² El texto de la solicitud así como las organizaciones que la sustentaron puede consultarse en el informe final de la CCA (CCA, 2004).

³ En 1994, Canadá, Estados Unidos y México crearon la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA) en términos del Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte (ACAAN). El propósito de esta organización internacional es ocuparse de los asuntos ambientales de preocupación común, contribuir a prevenir posibles conflictos ambientales derivados de la relación comercial y promover la aplicación efectiva de la legislación ambiental. El Acuerdo complementa las disposiciones ambientales del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN).

La CCA respondió en forma positiva y constituyó un grupo asesor, mismo que definió los contenidos de un reporte e invitó a un grupo de 19 especialistas a elaborarlo. El resultado de este trabajo se presentó en un seminario abierto al público, el 11 de marzo del 2004, en la ciudad de Oaxaca. Posteriormente, el grupo asesor con base en la información contenida en los diez capítulos del reporte emitió un informe final, el cual se publicó en agosto de ese año, con las principales conclusiones y una serie de recomendaciones referidas al flujo génico, la biodiversidad, la salud y los aspectos socioculturales (CCA, 2004).

La siembra de maíz transgénico en Oaxaca se produjo fuera de control, sin que mediara un proceso de “extensionismo, validación y socialización de los posibles riesgos y beneficios de la tecnología”, (Larson y Chauvet, 2004:1), en ausencia de un marco regulatorio en bioseguridad y en un ambiente de vacío institucional.

Una vez notificadas, las autoridades procedieron a realizar colectas con regularidad y, al parecer, las medidas tomadas para sembrar sólo maíz que fuera de la región y no el grano proveniente de Diconsa contribuyeron a disminuir la presencia del transgen en las muestras tomadas, (Ortíz *et al*, 2005). No obstante, el monitoreo tendrá que ser permanente, porque no hay certeza de que no se vuelva a sembrar maíz transgénico en esa zona; de ahí la importancia de contar con capital humano calificado para estas tareas.

El 18 de marzo de 2005 se promulgó la ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados

y quedó regulado el hecho de que para poder sembrar el maíz transgénico era necesario establecer las zonas libres de éste, debido a la presencia de maíces nativos y, asimismo, el establecimiento de un régimen especial de protección al maíz. De ahí que, en 2006, los permisos para la siembra experimental de maíz GM fueron negados debido a que no se cumplían estos requisitos, además de que la ley aún carecía de reglamento (Rudiño, 2006). El 8 de noviembre de ese año se funda la Unión de Científicos Comprometidos con la Sociedad (UCCS), esta organización ha realizado diferentes foros, difunde información a través de su página de internet y recientemente publicó un libro (Álvarez-Buylla y Piñeyro, 2013).

A finales del año 2007, se encuentran nuevas siembras de maíz genéticamente modificado en el estado de Chihuahua. En un inicio, se negó tal hallazgo, sin embargo, el dirigente de Agrodinámica Nacional A. C., confirmó que los productores habían sembrado maíz transgénico desde 2005. Este grupo de productores cometió dos delitos: el ingreso no permitido de maíz GM al territorio nacional para su siembra, con lo cual ese maíz se califica como contrabando (Ávila, 2013); y, en segundo lugar, la exposición de las variedades de maíz nativo de la zona al polen del maíz GM; en Chihuahua hay registro de algunas razas de maíz como son: apachito, gordo, azul y cristalinos (Lazos y Chauvet, 2010) e incluso del teocintle, pariente silvestre, con lo cual estos agricultores violaron la LBOGM; sin embargo, no fueron sancionados. Este caso fue ampliamente impugnado

por las organizaciones sociales que demandaron un amplio monitoreo en toda la entidad nortea.

Es también para 2007 que surge la campaña *Sin Maíz no hay País*, iniciativa de cuatro organizaciones campesinas y que actualmente está sostenida por trescientas de ellas. Su propósito consiste en lograr la soberanía alimentaria a través del fortalecimiento de la producción campesina en México y abogar por la prohibición de la siembra de transgénicos.

Para 2009, ya se habían levantado las trabas jurídicas y se inició la etapa de experimentación de la siembra de maíz genéticamente modificado en México, con 110 solicitudes para la siembra de dicho cultivo en etapa experimental, y once para programa piloto. Según datos del Informe “Estatus de solicitudes de permiso de liberación al ambiente de maíz genéticamente modificado ingresadas en 2012”, y publicado el 13 de mayo de 2013 por Sagarpa, dicha Secretaría informó que entre 2008 y 2012 se otorgaron 193 permisos para maíz GM (168 en liberación experimental y 25 en programa piloto) en una superficie permitida de 3452 hectáreas. Sin darse a conocer públicamente los resultados de esas siembras para 2012 se presentaron solicitudes para su posterior siembra comercial. Dicho informe menciona que las solicitudes para liberación comercial de transgénicos en el 2012 se concentraron en tres transnacionales: Monsanto en el Estado de Sinaloa, con 1 400 000 hectáreas; PHI México, S.A. de C.V. en Tamaulipas, con 1 053 568 hectáreas, así como Dow AgroSciences de México S.A. de C.V., en Tamaulipas,

con 40 000 hectáreas; lo que da un total de 2493568 hectáreas (de León, 2013).

No obstante, el 5 de julio de 2013 se interpuso una demanda colectiva por parte de 53 individuos y 20 organizaciones ante un juzgado del D.F. solicitando la suspensión de los permisos para la siembra experimental, piloto y comercial del maíz GM. En octubre de 2013, el juez suspende las siembras en tanto se resuelve la demanda. En diciembre, cuando el juez estuvo de vacaciones, su suplente en el juzgado rechazó la demanda, pero un Tribunal Unitario dio lugar a la apelación de los demandantes, afirmando la suspensión. Para 2015 continúa la suspensión de autorizaciones para sembrar maíz transgénico en México.

La regulación de la biotecnología: sociedad y medio ambiente

En el capítulo II se cuestionó sobre el momento adecuado para la regulación de una nueva tecnología, antes de su autorización, en la etapa de su difusión o una vez que ya se tiene información sobre sus efectos, en caso de ser esta última ¿no será demasiado tarde para corregir el rumbo? Con el fin de subsanar dicha situación entre las regulaciones para la liberación al ambiente de los OGM está el análisis de riesgo que se compone de tres clasificaciones: i) la evaluación de riesgo; ii) la gestión del riesgo y iii) la comunicación del riesgo. Los reguladores las separan en distintos pasos, el primero lo asignan a los expertos en biología molecular; en el segundo y tercero, ya se incluirían las consideraciones socioeconómicas

para dar forma a la política y, en última instancia para la toma de decisiones de manera informada. Es una decisión política y científica, mientras que la evaluación de riesgos es una evaluación científica del riesgo. Ambos procesos están relacionados entre sí, pero tienen dos conjuntos diferentes de profesionales con diferentes orígenes, formación y preguntas que responder. Si se incluyen los aspectos socioeconómicos en la regulación se haría el proceso mucho más complejo y costoso (Roca, 2013).

Las consideraciones socioeconómicas están relacionadas con el análisis de riesgo, no puede separarse tajantemente la esfera natural de la social. Si los tomadores de decisiones, junto con la evaluación de riesgo disponen de información respecto de las consecuencias positivas o negativas de carácter socioeconómico de liberar al ambiente GMOS o de las implicaciones de no hacerlo, sus decisiones tendrían mayor solidez y podrían incidir en mitigar los efectos adversos y direccionar la tecnología hacia una inclusión social o bien decidir no adoptarla por las implicaciones de exclusión social. Pero si las consideraciones socioeconómicas se posponen para la gestión del riesgo, las posibilidades de redireccionar la tecnología hacia un beneficio social más amplio se limitan.

Para México los casos de papaya, maíz y soya presentados en el capítulo tres son una muestra de los efectos favorables o adversos de la introducción de semillas transgénicas. En efecto, en el primero, el resultado de la evaluación *ex ante* mostró lo benéfica que es la

innovación para los pequeños productores de papaya, quienes verían disminuidas sus pérdidas al no presentarse el virus en sus huertos. Sin embargo, el proyecto no llegó a su fase comercial, no por problemas de bioseguridad, sino por razones económicas ya que los grandes exportadores del cultivo se opusieron a su desarrollo. En los otros dos casos, son más los riesgos sociales y ambientales que los beneficios que se pudieran obtener.

Otro aspecto controvertido sobre la conveniencia de tomar en cuenta o no las consideraciones socioeconómicas es que éstas interfieran con las obligaciones internacionales de un país —el lector recordará que en el capítulo II se abordó ampliamente este tema— y que ellas se conviertan en una barrera al libre comercio. La idea es que al conocer las consecuencias socioeconómicas de la adopción de un LMO se puede llevar a una de las partes a decidir que no se importe el producto y con ello, incumplir sus obligaciones internacionales. El problema, sin embargo, puede presentarse al revés; el desconocimiento de los efectos sociales puede llevar a que se autorice la importación de un LMO que provoque como consecuencia la pérdida de un mercado de exportación de un producto convencional, debido a las preferencias del consumidor para no utilizar alimentos que en su proceso hayan utilizado LMO y entonces, el cultivo transgénico se convierte en una barrera para el libre comercio de un producto convencional que, además, ya tenía mercado. Fue éste el caso de la siembra de soya transgénica en la región maya de producción de miel en México.

En la práctica, el ejercicio de la regulación de la biotecnología reside en profesionales de las ciencias biológicas, que son asesorados por abogados y de esta forma quedan excluidos los expertos provenientes de las Ciencias Sociales. En las reuniones bianuales del Protocolo de Cartagena se evalúa la aplicación de este instrumento jurídico por parte de las distintas Partes firmantes, el Art. 26 se quedó pendiente, dado su carácter polémico; no obstante, se realizaron diversas actividades desde 2008 (Chauvet, 2009). Los preparativos para la Sexta Reunión se iniciaron desde 2011; se realizó un foro en línea y una reunión de expertos. Para poder intervenir se requiere de que los participantes sean nominados por sus gobiernos; en el caso mexicano, la CIBIOGEM designó a cuatro académicos de las Ciencias Sociales e incluso una investigadora participó como parte de la delegación mexicana en la sexta reunión del protocolo, debido a que las consideraciones socioeconómicas formaron parte de los temas por tratar.

En la Sexta Reunión del Protocolo de Cartagena, realizada en la India, en 2012, se tomó la resolución de formar un grupo de expertos de las Ciencias Sociales y se organizó otra discusión en línea, a la que contribuyeron los académicos nominados. Para la reunión presencial de expertos que se realizó en febrero de 2014, hubo un cambio de orientación; se desechó el camino andado y en lugar de que asistiera alguno de los investigadores que tenían cuatro años en el tratamiento del tema, la CIBIOGEM decidió improvisar y envió a una persona que carecía de dicha experiencia. Este hecho

describe la poca seriedad con que se abordan los aspectos relacionados con los efectos sociales que la biotecnología agrícola puede ocasionar, los cuales pueden ser positivos o negativos, pero que los tomadores de decisiones deberían conocer para potenciar los primeros y minimizar los segundos.

En el aspecto ambiental es muy importante mencionar que la materia prima de la que parte la biotecnología en la agricultura son los recursos fitogenéticos, concebidos como el material genético de origen vegetal de valor real o potencial para la alimentación y la agricultura. Generalmente, dicho material se localiza en las semillas (FAO, 2009). No obstante, su domesticación, conservación, desarrollo y diversificación se ha dado mediante un proceso socio biocultural, o sea un conocimiento tradicional asociado a los recursos fitogenéticos (Chauvet *et al*, 2009) (Lazos y Chauvet, 2010).

Actualmente, son tres instrumentos jurídicamente vinculantes los que regulan el acceso a los recursos genéticos y la justa y equitativa distribución de beneficios derivados del uso de éstos: se trata del Convenio sobre la Diversidad Biológica; el Protocolo de Nagoya sobre Acceso a Recursos Genéticos y la Distribución Justa y Equitativa de los Beneficios derivados de su Utilización y el Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (Cabrera, 2013). Los dos primeros surgen del CDB y el último de la FAO.

Un aspecto discutido que aún no está resuelto es el mecanismo de acceso, porque para la FAO, en 1983,

el principal objetivo del Compromiso Internacional sobre Recursos Fitogenéticos –que posteriormente daría lugar al tratado– consistía en “asegurar que los recursos fitogenéticos de interés económico o social, particularmente para la agricultura, sean explorados, preservados, evaluados y hechos disponibles para el mejoramiento y propósitos científicos”. El compromiso Internacional declaraba de libre acceso y Patrimonio Común de la Humanidad a los recursos genéticos vegetales (Cabrera, 2013), con lo cual el reconocimiento a las comunidades y sus saberes tradicionales quedaba en entredicho y daba pie a lo que se conoce como biopiratería, es decir, al saqueo de los recursos filogenéticos por parte tanto de investigadores como de compañías.

En cuanto a los países en desarrollo, algunos comenzaron a cuestionar el paradigma del libre acceso y la ausencia de distribución de beneficios derivados del uso de sus recursos fitogenéticos. Ello condujo a la aprobación de clarificaciones del alcance del compromiso. La resolución denominada *La Interpretación Acordada*, reconoció la enorme contribución de los agricultores de todas las regiones a la conservación y al desarrollo de los recursos genéticos y aclaró que el término *libre acceso* no significa libre de costo y que los beneficios bajo el compromiso son parte de un sistema recíproco, también se incluyó el reconocimiento de los derechos de obtención vegetal, se afirma que:

en la historia de la humanidad innumerables generaciones de agricultores han conservado, mejorado y hecho disponibles

los recursos fitogenéticos, sin que se haya reconocido la contribución de esos agricultores. Se arriba al concepto de los derechos del agricultor definiéndolos como los “derechos que surgen de la contribución pasada, presente y futura de generaciones de agricultores en la conservación, mejoramiento y disponibilidad de los recursos genéticos vegetales (Cabrera, 2013:13).

Es así que se empieza a tratar el tema del acceso a los recursos genéticos y a la distribución de beneficios, que por sus siglas en inglés se conoce como (ABS), Access and Benefit-Sharing. Por último, el artículo 12.3 del TR-FAA estipula –entre otras situaciones– que: *a)* el acceso se concederá exclusivamente con fines de utilización y conservación para la investigación, el mejoramiento y la capacitación para la alimentación y la agricultura, siempre que dicha finalidad no lleve consigo aplicaciones químicas, farmacéuticas y otros usos industriales no relacionados con los alimentos (piensos); *b)* el acceso se concederá de manera rápida, sin necesidad de averiguar el origen de cada una de las muestras; este acceso se hará en forma gratuita; pero cuando se tenga que cobrar una tarifa, ésta no deberá superar los costos mínimos correspondientes (FAO, 2009). Para ello el TR-FAA establece un sistema multilateral de acceso.

El conocimiento tradicional y los recursos genéticos, a pesar de los mecanismos de acceso y compensación de beneficios, quedan muy vulnerables porque es posible reproducir una muestra de material genético, y de esta forma, el proceso de transferencia y apropiación

de los recursos genéticos resulta irreversible; por otra parte, el saqueo viene a ser una vía más corta y sencilla que cumplir con los marcos legales, institucionales y/o comerciales del país que alberga dicho material (Chauvet, *et al*, 2009).

Además, hay diferencias entre el sistema multilateral del TRFAA de acceso y el mecanismo bilateral del CBD y del Protocolo de Nagoya, éstos exigen el consentimiento informado previo y de negociar términos mutuamente acordados, incluyendo distribución de beneficios, que por lo general involucran la negociación de contratos o arreglos similares (Cabrera, 2013).

México firmó el Protocolo de Nagoya el 24 de febrero de 2011, pero no ha signado aún el TRFAA, que desde 2009 ha estado disponible para su firma y ratificación. La gran biodiversidad de México coloca a nuestra nación en el primer país en el continente americano y quinto a nivel mundial. Debido a la correlación estrecha entre su diversidad biológica y cultural (Sarukhán *et al*, 2009) tiene obligación de cuidar esa gran riqueza y crear capacidades para lograr la bioseguridad (Acevedo *et al*, 2009) así como generar un proceso de negociación de ABS favorable al país. Como lo sostienen los autores de la obra *El Capital Natural de México*:

Toda modificación de un ecosistema natural para atender necesidades humanas conlleva una transacción [...] Las políticas que han propiciado tales transformaciones de los ecosistemas naturales nunca han tomado en cuenta el costo social de largo plazo [...] tenemos que trabajar en un contexto de desarrollo

económico sostenido, con beneficio social permanente, acotado por las características ambientales y la capacidad de los ecosistemas para soportar la actividad humana de que se trate (Sarukhán *et al*, 2009:13).

Bioética, democracia y participación social

Dado que la práctica de la agricultura comprende un sistema socio-ecológico, la investigación en este campo enfrenta el doble reto de entender las interacciones del agro-sistema ambiental y las prácticas de los actores sociales en éste, así está planteado este tema por Alrøe and Kristensen, 2002 (citados por Hisano, 2008), los autores sostienen que dado el contexto social en que se desarrolla la investigación agropecuaria, ésta involucra intereses y valores de la sociedad y ello la convierte en un proceso de aprendizaje social interactivo, en el que los valores contextuales y visiones son parte integral del proceso mismo del conocimiento científico y la producción tecnológica (Alrøe y Kristensen, 2002).

La investigación científica ha tendido hacia la especialización y como resultado se considera que la ciencia reductiva es más objetiva y más científica que aquella que interactúa con diferentes tipos de disciplinas y que, por tanto, adopta un enfoque holístico. Este hecho provoca que algunos biotecnólogos sostengan una visión reduccionista de la realidad y no consideren el nexo entre ciencia y sociedad (Hisano, 2008). De tal suerte que resulta incorrecto considerar a la tecnología y a la sociedad como esferas separadas que se influyen

una a la otra, pues éstas son mutuamente constitutivas (Mackenzie y Wajcman, 2006).

La ciencia y la tecnología deben ser evaluadas en un contexto económico, político y social y no exclusivamente en su aporte utilitarista (Hisano, 2008).

Jeffrey Burkhardt sostiene que son dos los principales principios éticos en el debate de la agro-biotecnología. Éstos son el principio del utilitarismo “el máximo bienestar” y el principio del “respeto a los derechos” o autonomía. El utilitarismo define la aceptabilidad ética, simplemente, en términos de consecuencias; en concreto, en los resultados netos positivos de las acciones. Si el desarrollo o uso de la tecnología hace a las personas más felices o satisface más sus preferencias, entonces esa acción es éticamente aceptable. Si hay algunos o muchos “perdedores”, esto es desafortunado, pero justificable, es un riesgo aceptable. El utilitarismo clásico sostiene que para cada acción siempre hay ganadores y perdedores, lo importante radica en que el balance sea positivo. Con mucha frecuencia, el utilitarismo define el balance literalmente en ganancias económicas y las pérdidas constituyen efectos negativos que es necesario calcular. El principio con respecto a los derechos – en contraste– se fija en absolutos, que están vinculados a la idea de autonomía. Si un individuo o un grupo de personas tiene ciertos derechos, no es un camino legítimo ignorarlos o pasar sobre ellos. Acorde con esto, no hay cálculos de pérdidas o ganancias, incluso si una acción tiene ganancias utilitarias o sirve para un bienestar social generalizado, pero los individuos tienen

ciertos derechos en contra de esta acción, entonces ésta es incorrecta (Burkhardt, 2008).

En otras palabras, cuando se aplica el estrecho marco del utilitarismo, es probable que el análisis de riesgo-beneficio se lleve a cabo sin examinar los costos y beneficios a nivel socioeconómico y ambiental, por tanto, se muestra una tendencia a sobreestimar las bondades de las nuevas tecnologías y a desestimar sus costos externos. Incluso cuando los riesgos potenciales causan preocupaciones en el público, el papel de la ética se reduce estrictamente al papel marginal de análisis de riesgos y beneficios en la aplicación del conocimiento de la biotecnología, como si su producción fuera neutral (Hisano, 2008). En el capítulo 1 se planteó el hecho de que la ciencia y la tecnología surgen en un contexto social y, por tanto, no gozan de autonomía y neutralidad, sino que están moldeadas por valores, intereses y propósitos desde su concepción y diseño, lo que conlleva a que los científicos y tecnólogos tengan una responsabilidad sobre las consecuencias de su trabajo.

Los proponentes de la biotecnología, en especial quienes están en el negocio como empresarios, funcionarios, incluso académicos, argumentan que la oposición a los transgénicos por afectaciones al medio ambiente o al derecho a elegir de las personas son sólo motivaciones aparentes ante una crítica más profunda y amplia hacia el moderno sistema económico-político industrial corporativo y que no es en sí la biotecnología la que debería ser el foco de una preocupación ética (Burkhardt, 2008), eludiendo de esa manera su responsabilidad.

No obstante, si son temas relacionados con la bioética, el compromiso que tengan los científicos y los reguladores con la seguridad del medio ambiente; su diligencia para aplicar pruebas rigurosas a fin de determinar la seguridad de los OGM y el cuidado que pongan en alertar a los productores del uso de los productos agro biotecnológicos de una manera apropiada (Burkhardt, 2008).

En cuanto al derecho a elegir por parte de los consumidores hay tres señalamientos. El primero, el hecho de que muchas personas objetan consumir los transgénicos por razones culturales o filosóficas. Tomar en cuenta su autonomía necesariamente implica que sus puntos de vista tienen que ser respetados o al menos las opiniones opositoras nos les deberían ser impuestas restringiendo sus oportunidades de evadir el consumo de los transgénicos. Por ello, la elección del consumidor en cuanto a los transgénicos es una confrontación entre los principios del utilitarismo y el respeto de la autonomía. El segundo se refiere al etiquetado de los productos GM. Desde un punto de vista ético, el etiquetado de los transgénicos es consistente con el principio del máximo bienestar social y el principio de autonomía. Esto da la oportunidad a las personas de saber qué es lo que están consumiendo y permitirles elegir libremente. La mayor objeción al etiquetado de los transgénicos han sido los costos de hacerlo y el hecho de que pueden estigmatizarlos. Por último, el tercero está relacionado con la libertad de elección de las personas, no tanto de los alimentos por consumir, sino de la agenda

de la agro-biotecnología en materia alimentaria (Burkhardt, 2008).

Uno de los principios de la modernidad es que todos tenemos el derecho fundamental y universal de definir y controlar las formas en las cuales queremos organizar y vivir nuestras vidas, como individuos y colectivamente como sociedad. En cuanto al desarrollo tecnológico, la globalización representa una aceleración de los procesos de concentración de poder y el fin del concepto de soberanía desarrollado por la modernidad. La creación de los transgénicos es un claro ejemplo de este proceso, dado que elimina la posibilidad de las comunidades locales de tomar autónomamente decisiones sobre su organización y desarrollo. En efecto, la transnacionalización de procesos económicos y políticos ha fracturado los organismos de representación popular. A través de la creación de organismos transnacionales, el proceso de toma de decisiones está controlado por grupos que no han sido electos por los ciudadanos que ellos, supuestamente, representan. Entonces, el principio político de la democracia representativa es eliminado en favor de una representación sin participación. En síntesis, esta condición crea una concentración de poder en manos de grupos burocráticos que se identifican y relacionan más con los intereses de grupos sociales y económicos dominantes y carecen de conexiones reales con la sociedad (Bonnano, 2003).

La ausencia de participación parte del prejuicio de que sólo los expertos están autorizados para participar en la toma de decisiones. Sin embargo, como sostiene

Frank Fischer, la participación de los ciudadanos contribuye a tres propósitos: *i)* da sentido a la democracia; *ii)* contribuye a la legitimización e implementación de políticas y *iii)* provee de nuevo conocimiento que el experto puede desconocer, sobre todo a nivel local (Fischer, 2002).

Para Sheila Jasanoff, el reto es constituir, en conjunto con los avances mundiales de la tecnología, la capacidad institucional que permita a los ciudadanos participar de manera significativa en el debate de la instrumentación de las nuevas tecnologías (Jasanoff, 2006).

La participación por sí sola no es la respuesta al problema de cómo democratizar las sociedades tecnológicas, ni la solución de los problemas sociales. No obstante, abrir las puertas de los foros de expertos es un paso, sin duda, pero el mecanismo formal adoptado por los gobiernos no está lo suficientemente desarrollado como para involucrar al público en la administración de la ciencia global y la tecnología. Lo que tiene que cambiar es la cultura de la gobernanza, tanto a nivel nacional como internacional, y para ello nosotros no sólo tenemos que mejorar los mecanismos, sino también la sustancia de la participación política. El tema, en otras palabras, no es si el público debería o no intervenir en las decisiones técnicas, sino cómo promover mecanismos de interacción más significativos alrededor de los políticos, los expertos, las corporaciones y el público (Jasanoff, 2012).

Para mover la discusión pública de la ciencia y la tecnología en nuevas direcciones, Sheila Jasanoff sugiere

la necesidad de alcanzar las “tecnologías de la humildad”. Las tecnologías sociales pueden combinar la sustancia y el proceso y, con ello, mejorar la deliberación, de esa manera se podrá integrar lo que es posible hacer en la ciencia. Con lo anterior, deberían establecerse respuestas a las cuestiones éticas y políticas. Para ello propone cuatro puntos específicos: *i)* limitar, es decir, establecer correctamente los límites del problema, es decir, que el marco no sea demasiado angosto o amplio, por ejemplo, creer que la violencia tiene origen genético puede dejar de lado la investigación sobre las influencias sociales de la conducta; *ii)* vulnerabilidad, en el análisis se ha empezado a reconocer la importancia de los factores socioeconómicos, pero por ahora se toman en cuenta nada más a las poblaciones y no a los individuos, la participación de los ciudadanos en los análisis de su propia vulnerabilidad, los convierte en sujetos activos, más que en sólo objetos indiferenciados en un discurso experto; *iii)* distribución, se refiere a la interacción sostenida entre políticos, expertos y ciudadanos desde el inicio de la investigación y su ulterior desarrollo, lo que puede otorgar espléndidos rendimientos en la distribución de las implicaciones de la innovación; y por último, *iv)* aprendizaje, en lugar de buscar explicaciones monocausales, sería muy enriquecedor diseñar vías a través de las cuales las sociedades puedan reflexionar colectivamente sobre la ambigüedad de sus experiencias, para evaluar las fortalezas y debilidades de explicaciones alternativas (Jasanoff, 2012).

Para finalizar, es importante asentar el desafío ante el que nos colocamos en caso de lograr la innovación, pero con precaución y como dijo Juan Cristina,⁴ “La tecnología soluciona problemas, pero puede generar otros. Sin embargo, ¿esto quiere decir no usarla porque no soluciona todos los problemas?” (Cristina, 2003: 73).

⁴ Profesor asociado y director del Centro de Investigaciones Nucleares de la Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay. Investigador en el campo de virología molecular, ejerce docencia en virología y bioética.

GLOSARIO

Ácido nucleico: Macromolécula formada por nucleótidos polimerizados, de la que se conocen dos formas, ADN y ARN. Los ácidos nucleicos pueden ser lineales o circulares y de una sola o de doble hebra.

Ácido ribonucleico: (ARN). Ácido orgánico polímero de los ribonucleótidos adenina, guanina, citosina y uridina. Constituye el material genético de algunos virus. De manera más general se puede decir que es la molécula derivada del ADN por transcripción, que transporta la información (ARN mensajero), suministra la estructura subcelular (ARN ribosómico), transporta los aminoácidos (ARN de transferencia) o facilita su propia modificación bioquímica o la de otras moléculas de ARN.

Aclimatación: Adaptación de un organismo vivo (planta, animal o microorganismo) a un cambio medioambiental que le somete a un estrés fisiológico. No debe confundirse con adaptación.

Actores sociales: Las personas e instituciones en los organismos públicos, el sector privado y la sociedad civil que están involucrados de una forma u otra en un campo de problemas.

Adaptación: Ajuste de una población durante generaciones a cambios medioambientales asociados (al menos en parte) a las transformaciones genéticas que resultan de la selección impuesta por el propio cambio ambiental. No debe confundirse con aclimatación.

Adición génica: Suma de una copia funcional de un gen al genoma de un organismo.

ADN: Siglas de ácido desoxirribonucleico. Largo polímero de desoxirribonucleótidos. El ADN constituye el material genético de la mayoría de los organismos y órganos que se conocen; por lo general se encuentra formando una doble hélice, aunque algunos genomas virales contienen ADN de una sola cadena y, otros, ARN de una o de doble cadena.

ADN del cloroplasto: ADN que se encuentra en el cloroplasto. A pesar de que el genoma del cloroplasto es pequeño, el gran número de cloroplastos por célula asegura que el ADN cloroplasto alcanza una proporción significativa de ADN total en las células vegetales.

ADN recombinante: Resulta de combinar fragmentos de ADN de diferente procedencia.

Alimentos GM: (Alimentos genéticamente modificados). Alimentos que poseen más de un cierto contenido mínimo legal de materias primas obtenidas a partir de organismos genéticamente modificados.

Análisis del riesgo: Proceso que consta de tres componentes: evaluación, manejo y comunicación del riesgo, el cual se realiza para examinar la naturaleza de las consecuencias no deseadas y negativas para la salud humana y animal, y para el medio ambiente, que puede desencadenar un determinado acontecimiento.

Antixenosis: Modificación del comportamiento de un organismo, inducida por una sustancia u otro organismo. Se utiliza en particular en el contexto de la resistencia de las plantas a los insectos, cuando

éstos tienen la posibilidad de elegir entre plantas de distintos grupos.

ARN recombinante: Moléculas de ARN unidas *in vitro* por medio de la ARN ligasa T4, o por cambio de molde debido a la replicasa de un virus ARN.

Arroz dorado: Arroz obtenido por ingeniería genética, que contiene importantes cantidades de beta caroteno (precursor de la vitamina A), en sus granos. Se ha conseguido mediante la inserción de dos genes: uno procedente del narciso y el otro de la bacteria *Erwinia uredovora*.

***Bacillus thuringiensis*: (Bt).** Bacteria que produce una toxina contra ciertos insectos, en particular especies de coleópteros y lepidópteros; constituye el principal medio de lucha contra insectos en el contexto de la agricultura orgánica. Algunos de los genes de la toxina se consideran de mucha importancia en el enfoque transgénico en la protección de cultivos.

Banco de genes: 1. Lugar donde se almacenan las colecciones de material genético en forma de semillas, tejidos o células reproductoras de plantas o animales. 2. Banco de genes en campo: Instalaciones para el almacenaje y conservación *ex situ* de plantas individuales, mediante el uso de técnicas hortícolas. Su empleo se centra en especies de semillas recalcitrantes, o en especies de interés agrícola que se propagan por clonación, *p. ej.*, variedades de manzana. 3. Colección de fragmentos clonados del ADN de un genoma. De ser posible, el banco debería clonar representativos de todas las secuencias de ADN del genoma.

Biocontrol: Control de plagas por medios biológicos.

Cualquier proceso que introduce en forma deliberada organismos vivos en un medio para impedir el crecimiento y desarrollo de otros organismos como, *p. ej.*, la introducción de insectos depredadores para controlar plagas de otros insectos.

Bioenergética: Estudio de la transferencia y de las transformaciones energéticas que tienen lugar en los organismos vivos.

Biodiversidad agrícola: Subconjunto de la biodiversidad en general, incluyendo todas las variedades cultivadas. Las variedades cultivadas pueden clasificarse en términos generales como “variedades modernas” y “variedades tradicionales o de los agricultores”. La biodiversidad agrícola contribuye a la seguridad alimentaria, la seguridad de sustento económico y, además, apunala el desarrollo de toda la producción alimentaria.

Bioinformática: Uso y organización de la información de interés biológico. En particular, lo relacionado con la organización de bases de datos biomoleculares (sobre todo las secuencias de ADN), que implican el uso de ordenadores para sus análisis, e integran informaciones procedentes de fuentes biológicas dispares.

Biobalística: Técnica para generar células transgénicas en las que las partículas pequeñas de un metal (tungsteno u oro) se recubren con ADN y se impulsan a velocidad suficiente para ser introducidas en células diana. El ADN suele quedar incorporado a

las células, siempre que éstas no queden irreparablemente dañadas. Dicha técnica se ha utilizado con éxito para transformar células animales, vegetales y fúngicas, e incluso mitocondrias dentro de las células.

Biolixiviación: Obtención de metales de sus compuestos minerales, valiéndose de la acción de los microorganismos, en lugar de emplear tratamientos físicos o químicos. Por ejemplo, la actividad de *Thiobacillus ferrooxidans* permite extraer oro de minerales refractarios.

Bioproceso: Cualquier proceso en el que se emplean células vivas enteras o sus componentes (*p. ej.*, enzimas, cloroplastos) para realizar determinados cambios físicos o químicos.

Biorremediación: Proceso que utiliza organismos vivos para eliminar contaminantes, residuos o sustancias no deseadas del suelo o del agua.

Bioseguridad: Se refiere a las medidas destinadas a evitar los riesgos para la salud y la seguridad humanas y para la conservación del medio ambiente derivados del uso de organismos infecciosos o genéticamente modificados en investigación o en las prácticas comerciales.

Biotecnología: 1. "Cualquier aplicación tecnológica que utiliza sistemas biológicos, organismos vivos, o algunos de sus derivados para crear o modificar productos o procesos para usos específicos" (Convenio de Diversidad Biológica). 2. "Interpretado en sentido más estricto, el conjunto de diferentes

tecnologías moleculares tales como la manipulación y la transferencia de genes, el tipado de ADN y la clonación de plantas y animales” (Declaración de la FAO sobre biotecnología).

Biotecnología moderna: Aplicación: a) técnicas *in vitro* de ácidos nucleicos, incluyendo el ácido desoxirribionucleico (ADN) recombinante y la inyección directa de ácido nucléico en células u orgánulos, o b) fusión de células de la misma o distinta familia taxonómica. Estas técnicas, que no forman parte de las empleadas en la selección y mejora tradicionales, permiten sobrepasar las barreras fisiológicas naturales, ya sean reproductoras o de recombinación.

Centro de origen: “zona geográfica donde adquirió por primera vez sus propiedades distintivas una especie vegetal, domesticada o silvestre” (Tratado internacional sobre los recursos filogenéticos para la alimentación y la agricultura). Estas zonas son las fuentes más probables de variabilidad genética natural, y representa lugares idóneos para la conservación *in situ*.

Comunicación del riesgo: Intercambio interactivo de información y de opiniones sobre peligros y riesgos, factores relacionados con el riesgo y su percepción, entre evaluadores y controladores del riesgo, consumidores, industria, comunidad académica y otras partes interesadas. Esta información incluye la explicación de los datos obtenidos en relación con la evaluación del riesgo y las bases de las decisiones tomadas referentes al manejo del riesgo.

Confinamiento: Medidas y procedimientos que se aplican para limitar el contacto de organismos genéticamente modificados o patógenos con el medio ambiente externo.

Construcción de ADN: Molécula de ADN quimérico, que contiene toda la información genética necesaria para su expresión transgénica en la célula hospedadora.

Contaminación genética: Diseminación incontrolada de información genética (que frecuentemente alude a transgenes) hacia genomas de otros organismos que, en su forma natural, no contienen la información.

Convenio sobre diversidad biológica: (CDB). Tratado internacional por el que se regula la conservación y el uso de los recursos biológicos en el mundo y que también reclama que se establezca la legislación pertinente para regular el movimiento internacional de organismos vivos no endémicos y de organismos genéticamente modificados.

Costos de Transacción: Son los costos incurridos en el acto de intercambio económico. Frecuentemente éstos son subdivididos en *ex-ante* y *ex-post*. Los costos *ex-ante* incluyen los costos de búsqueda o información (costos asociados con la obtención de información acerca del producto, sus características y precio, así como sus socios comerciales), y los costos de negociación (costos de negociación e implementación de la transacción). Los costos *ex-post* incluyen costos de monitoreo y cumplimiento

(costos incurridos para asegurar que los términos a los cuales se acordaron *ex-ante* se mantienen).

El sector formal: Control privado u oficial de semillas monitoreado a través del proceso entero de mejoramiento, multiplicación, procesamiento y almacenamiento, guiando hacia el producto final de la certificación de semillas.

El sector informal de semillas: se refiere a los mismos agricultores que se suministran semillas entre sí para la siembra. Esta semilla puede ser limpiada manualmente pero no es tratada de otra forma y por eso es un portador potencial de varias enfermedades.

Endospermo: Tejido nutritivo que se desarrolla en la semilla de la mayoría de los angiospermas y que contiene proporciones variables de carbohidratos (principalmente almidón), proteínas y lípidos. En la mayoría de las plantas diploides, el endospermo es triploide.

Enzima: Proteína que incluso en concentraciones muy bajas cataliza reacciones químicas específicas, sin consumirse ni modificarse en la reacción. Las enzimas se clasifican en seis grandes grupos según el tipo de reacción que catalicen: 1. Oxidorreductasas; 2. Transferasas; 3. Hidrolasas; 4. Liasas; 5. Isomerasas; 6. Ligasas. Generalmente, el nombre de las enzimas se forma añadiendo el sufijo -asa al nombre del sustrato; para su clasificación se sigue un sistema numérico estandarizado por la Enzyme Commission.

Erosión genética: En biodiversidad agrícola y ganadera, es la pérdida de diversidad genética, incluyendo la pérdida de genes individuales y la pérdida de genes combinados (o genes complejos), como aquellos manifestados en las variedades tradicionales, adaptadas localmente.

Etanol: Líquido de uso común para la desinfección de tejidos vegetales, utensilios de vidrio y superficies de trabajo en el manejo de los cultivos de tejidos, para precipitar soluciones acuosas de ácidos nucleicos, y para disolver los componentes insolubles en agua de los medios de cultivo.

Fitoanticuerpo: Anticuerpo expresado por transgénesis en una planta modificada por ingeniería.

Genética: Ciencia de la herencia.

Flujo génico: Propagación de genes de una población a otra relacionada (generalmente) por migración, lo que determina cambios en la frecuencia alélica.

Gen recombinante: Gen construido por ingeniería genética por la fusión de una secuencia codificante con el promotor y/o con otras secuencias procedentes de un gen diferente. La mayoría de los genes utilizados en transformación son recombinantes.

Genotipo: 1. Construcción genética de un organismo. 2. Constitución alélica de un locus particular, *p. ej., Aa o aa*. 3. Efecto suma de todos los *loci* que contribuyen a la expresión de un carácter.

Germoplasma: 1. Individuo, grupo de individuos o clones representativos de un genotipo, variedad, especie o cultivo, que forma parte de una colección

mantenida *in situ* o *ex situ*. 2. Significado original (actualmente en desuso): material genético que forma la base física de la herencia y que transmite de una generación a la siguiente a través de las células germinales.

Glifosato: Principio activo de algunos herbicidas que destruye las plantas al inhibir su actividad.

Herbicida: Sustancia tóxica para las plantas; principio activo de los productos agroquímicos destinados a eliminar plantas no deseadas, sobre todo malas hierbas.

Híbrido: Descendencia de dos progenitores diferentes, genéticamente.

***In situ*:** En el lugar natural o en el lugar original.

***In vitro*:** Fuera del organismo o en un medio artificial. Se aplica, por ejemplo, a células, tejidos u órganos cultivados en contenedores de cristal o plástico.

Ingeniería genética: Tecnología que permite inducir cambios por transgénesis en el genotipo y, por tanto, en el fenotipo de un organismo.

Inseguridad Alimentaria: Es una situación que se presenta cuando las personas carecen de un acceso asegurado o garantizado a suficientes cantidades de alimentos seguros y nutritivos, necesarios para un crecimiento y un desarrollo normal, así como para una vida activa y sana. La inseguridad alimentaria puede ser crónica, temporal o transitoria.

Lactosa: Disacárido compuesto por una unidad de glucosa y otra de galactosa que se produce en la glándula mamaria y se encuentra en la leche.

“Landrace” o Variedades Tradicionales: Se refiere a los animales o plantas domesticadas, adaptadas al ambiente natural y cultural en el cual se vive (u origina) y, en algunos casos, se trabaja. Muchas veces éstas se desarrollan naturalmente con asistencia o guía mínima por parte de los humanos, usando sistemas de mejoramiento tradicional.

Liberación voluntaria: En el contexto de la biotecnología, liberación intencionada de organismos modificados genéticamente.

Modificación génica: Cambio químico en la secuencia de ADN de un gen.

Nanotecnología: Es la manipulación de la materia a escala atómica y molecular. Significa combinar artificialmente átomos y moléculas para crear partículas y estructuras que manifiesten funciones nuevas, diferentes a las de la materia en tamaño mayor. Por convención se dice que la nanotecnología trabaja con materiales que tienen por lo menos una dimensión de hasta cien nanómetros.

Nutricéutico: Producto alimenticio convencional que ha sido modificado (posiblemente por ingeniería genética) con el objeto de mejorar sus propiedades nutritivas y farmacéuticas.

Organismo Genéticamente Modificado: (OGM). Organismo transformado por la inserción de uno o más transgenes.

Organismo Vivo Modificado: (OVM). “Organismo vivo que posee una nueva combinación de material genético, obtenida mediante el uso de la biotecnología

moderna.” (Convenio sobre Diversidad Biológica.)

Patente: Documento que expide el Estado, en el que se otorga reconocimiento a una persona física o moral el derecho de explotar en forma exclusiva un invento o sus mejoras.

Péptido: Secuencia de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos; constituyen las unidades de construcción de las proteínas o bien proceden de la rotura de las mismas. Se utilizan generalmente para referirse a especies de bajo peso molecular.

Proteómica: Enfoque de la biología molecular que trata de identificar y caracterizar series completas de proteínas y sus interacciones en una especie determinada.

Protocolo de Bioseguridad: Acta del acuerdo suscrito internacionalmente para “contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, que también tiene en cuenta los riesgos para la salud humana, y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos” (PCSB,2000).

Raza: Subdivisión de una especie que consiste en individuos genéticamente similares, emparentados por descendencia común, y que ocupan un territorio particular en el cual se han vuelto adaptados a través de la selección natural.

Recursos Genéticos: Material genético de valor real o potencial.

Roundup-ready™: Especifica las variedades de cultivo transgénicas que llevan el gen bacteriano que detoxifica el herbicida glifosato, y que son, por tanto, resistentes a su aplicación.

Seguridad Alimentaria: Es una situación que existe cuando todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, sanos y nutritivos que cumplen con sus necesidades nutricionales y sus preferencias alimentarias para una vida activa y sana.

Terminador: gen de uso genético restrictivo a nivel de variedad.

Transgén: Secuencia génica aislada que se utiliza para transformar un organismo. A menudo, pero no siempre, el transgén proviene de una especie distinta a la del receptor.

Transgénesis: Introducción de uno o más genes en células animales o vegetales, lo que determina que el gen incorporado (transgén) se transmita a las generaciones sucesivas.

Transgénico: Individuo en cuyo genoma se ha integrado un transgén. En los transgénicos eucariotas, el transgén debe transmitirse por meiosis para ser heredado por la descendencia.

Fuente: Zaid *et al*, (2004); FAO, (s/f)

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo, Francisca, Elleli Huerta, Santiago Lorenzo y Sol Ortiz. "La bioseguridad en México y los organismos genéticamente modificados: cómo enfrentar un nuevo desafío", en CONABIO, *El Capital Natural de México. Estado de conservación y tendencias de cambio*, vol. II: México, DF., CONABIO, 2009, 319-353.
- Aguilar, Jasmín, Catarina Illsley y Catherine Marielle. "Los sistemas agrícolas de maíz y sus procesos técnicos", en Gustavo Esteva y Catherine Marielle (coords.), *Sin maíz no hay país*, México, DF., CONACULTA, 2003, 83-122.
- Alavez, Valeria, Elena Álvarez-Buylla, Alma Piñeyro, Ana Wegier, José Antonio Serratos y Jorge Nieto-Sotelo. "Las líneas de maíz transgénico disponibles para la agricultura: promesas, hechos y potencial en el contexto de México", en Elena Álvarez-Buylla y Alma Piñeyro, *El maíz en peligro ante los transgénicos*, México, DF., UNAM/CICH/UCCS/UV, 2013, 61- 86.
- Alroe, Hugo y Eric Steen Kristensen. "Towards a Systemic Research Methodology in Agriculture. Rethinking the Role of Calues in Science", en *Agriculture and Human Values*, vol. 19, 2002, 3-23.
- Álvarez, Gloria. *Legislación en bioseguridad y políticas públicas*, México, DF., CEDRSSA, 2009, 224.
- Antal, Edit. "Between Global Regimes and Local Demands: the Regulation", en Edit Antal, Lauren Baker y Gerard Verschoor, *Maize and Biosecurity in Mexico. Debate and Practice*, Centre for Latin

- American Research and Documentation (CEDLA), 2007, 11-32.
- Ávila, Francisco, Yolanda Castañeda, Yolanda Massieu, Lucio Noriero y Arcelia González. "Los productores de maíz en Puebla ante la liberación del maíz genéticamente modificado", en *Sociológica*, núm. 82, 2014, 45 -81.
- Ávila, Jorge. *La política de bioseguridad en México: el control transfronterizo de los granos genéticamente modificado*, México, DF., Tesis de doctorado, Departamento de Sociología, UAM-A., 2013, 475.
- Aris, Aziz y Samuel Leblanc. "Maternal and Fetal Exposure to Pesticide Associated to Genetically Modified Foods in Eastern Townships of Quebec, Canada", en *Reproductive Toxicology*, 4, 2011, 528 - 533.
- Barajas, Rosa Elvia y Rosa Luz González. "Del rechazo y resistencia al rediseño social de la tecnología: un análisis de los alcances y limitaciones del movimiento anti-maíz transgénico en México", en Antonio Arellano, Michelle Chauvet y Ronny Viales, *Redes y estilos de investigación en México y Costa Rica*, Mexico, DF., UAM/UAEM/ Miguel Ángel Porrúa, 2013, 15 - 54.
- Barret, Christopher. "Measuring Food Insecurity", en *Science*, 2010, 825-828.
- Bartra, Armando. "SUR. Megaplanes y utopías en la América equinoccial", en Armando Bartra, *Mesoamérica. Los ríos profundos. Alternativas plebeyas al plan Puebla Panamá*, México, DF., Instituto

- Maya/El Atajo/Juan Pablos/UNORCA, 2001, 13-132.
- Beck, Ulrich. *La sociedad del riesgo global*, Madrid: Siglo XXI, 2002, 290.
- Bellon, Mauricio y Jean Risopoulos. "Small - Scale Farmers Expand the Benefits for Improves Maize Germoplasm: A Casr Study from Chiapas", en *World Developmten*, 29(5), 2001, 799 - 811.
- Bijker, Wiebe E., Thomas P. Hughes y Trevor J. Pinch (1987) "New Directions in the Sociology and History of Technology", en Wiebe Bijker, *The Social Construction of Technological Systems*, Cambridge, Massachusetts: The MT Press, 1987, 385.
- Bolívar-Zapata, Francisco. "Ciencia y tecnología para el desarrollo del país", en SEP-CONACYT, *Biotechnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI*, México, DF., SEP-CONACYT, 2001, 339.
- Bolívar-Zapata, Francisco. *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*, México, DF., Academia Mexicana de Ciencias/IBT-UNAM El Colegio Nacional/CONACYT/Cibiogem, 2004, 714.
- Bonnano, Alessandro "El Desarrollo de los transgénicos y el eclipse del proyecto de la modernidad", en *La Agricultura Transgénica: Pros y Contrás*, Ciclo de Conferencias de la Asociación Mexicana de Estudios Rurales (AMER), el departamento de Sociología de la UAM-A y CONACYT, 3 de abril, 2003
- Bosque, Monserrat. "Cumple 15 años algodón transgénico", en Sección negocios, *Reforma*, 14 de abril, 2012.
- Bourges, Héctor. "El maíz: su importancia en la

alimentación de la población mexicana”, en Elena Álvarez-Buylla y Alfonso Piñeyro, *El maíz en peligro ante los transgénicos*, México, DF., UNAM/ CICH/ UCCS/ UV, 2013, 237-247.

Briseño, Alejandro. “Cultivos transgénicos que han sido desarrollados y comercializados a nivel mundial”, en IDRC/ CamBioTec, *Cultivos genéticamente modificados: desarrollos, perspectivas y barreras de entrada al mercado*, México: IDRC/ CamBiotec/ UNAM, 2002, 31-54.

Burkhardt, Jeffrey. “The Ethics of Agri-food Biotechnology : How Can an Agricultural Technology be so Important?”, en Kenneth, David y Paul Thompson, *What Can Nanotechnology Learn From Biotechnology?*, Londres: Academic Press/ Elsevier, 2008, 55-80.

Cabrera, Jorge. *La relación del protocolo de Nagoya con el tratado internacional de recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura: opciones y recomendaciones de política para una implementación sinérgica a nivel nacional*, Quito, Ecuador: PNUMA, 2013, 46.

Carrillo, José Luis. “Evolucion del algodón transgénico en Mexico”, en VII congreso internacional en ciencias agrícolas UABC. Baja California, 2004.

Carullo, Juan Carlos. *La percepción pública de la ciencia: el caso de la biotecnología*, Tokio, Universidad de las Naciones Unidas, 2002.

Casas, Rosalba. “Los estudios sociales de la ciencia y la tecnología: enfoques, problemas y temas para una agenda de investigación”, en María Josefa

- Santos (coordinadora), *Perspectivas y desafíos de la educación, la ciencia y la tecnología*, México, D.F., IIS/UNAM, 2003, 139-195.
- Castañeda, Yolanda, Arcelia González, Michelle Chauvet y Francisco Ávila. "Industria semillera de maíz en Jalisco. Actores sociales en conflicto", en *Sociológica*, núm. 83, 2014, 241-278.
- CCA. *Maíz y biodiversidad. Los efectos del maíz transgénico en México*, Montreal, CCA, 2004, 51.
- CDB. Protocolo. Montreal, Secretariado del Convenio de Diversidad Biológica, 2000.
- CDB. *Convenio sobre la Diversidad Biológica*, New York, Naciones Unidas, 1992.
- Charvolin, F. y C. Schwartz. "¿Una liberación peligrosa?", en J. Theys y B. Kalaora (eds.), *La Tierra ultrajada. Los expertos son formales*, México: FCE, 1996, 85-90.
- Chauvet, Michelle. "GATTACA vs Tlayoli. La dimensión socioeconómica y bio cultural del protocolo de Cartagena", en *Sociedades rurales, producción y medioambiente*, México, DF., 2009, 89-114.
- Chauvet, Michelle y Elena Lazos. "El maíz transgénico en Sinaloa: ¿tecnología inapropiada, obsoleta o de vanguardia? Implicaciones socioeconómicas de la posible siembra comercial", en *Sociológica*, núm. 82, 2014, 7-44.
- Chauvet, Michelle y Yolanda Castañeda. "Análisis social de la biotecnología desde la Universidad Autónoma Metropolitana", en Antonio Arellano, Michelle Chauvet y Ronny Viales, *Redes*

y estilos de investigación en México y Costa Rica, Mexico, DF., UAM/UAEM/ Miguel Ángel Porrúa, 2013, 273-295.

Chauvet, Michelle y Rosa Luz González. "La crisis alimentaria y los biocombustibles en México", en Blanca Rubio, *La crisis alimentaria mundial impacto sobre el campo mexicano*, México, DF., IIS/UNAM/ Miguel Ángel Porrúa, 2013a, 111-158.

Chauvet, Michelle y Rosa Luz González. "Los cultivos farmacéuticos. Implicaciones ambientales y sociales", en Claudia Ocman (coord.), *Actores, política, medio ambiente en América del Norte*, Puebla: Ed. BUAP/Plaza y Valdés, 2013b, 58-71.

Chauvet, Michelle, Yolanda Castañeda, Paz Trigueros, Arcelia González, Yolanda Massieu y Rosa Luz González. *Efectos sociales de la papaya transgénica: una evaluación ex ante*, México, DF., UAM-A, 2012, 234.

Chauvet, Michelle, Rosa Elvia Barajas y Arcelia González. "La biotecnología moderna y la defensa de los recursos fitogenéticos en América Latina", en José Luis Meléndez, *Desafíos del campo latinoamericano frente a la ciencia y la tecnología del siglo XXI*, México, DF., IPN, 2009, 173-192.

Chauvet, Michelle y Amanda Gálvez. "Learning about Biosafety in Mexico: Between Competitiveness and Conservation", en *International Journal of Biothechnology*, 2005, 62-71.

Chauvet, Michelle, Rosa Luz González, Rosa Elvia Barajas, Yolanda Castañeda y Yolanda Massieu. *Impactos sociales de la biotecnología: el cultivo de la*

- papa*, México, DF., Praxis, 2004, 292.
- Chauvet, Michelle y René Ochoa. "An Appraisal of the Use of RBST in Mexico", en *Biotechnology and Development Monitor*, Países Bajos, (27), junio, 1996, 6-7.
- Chauvet, Michelle. Yolanda Massieu, Estela Cervantes, Yolanda Castañeda y Rosa Elvia Barajas. "Impactos socioeconómicos de la biotecnología en el sector agropecuario de México", en Miguel Ángel Campos y Roberto Valera, *Prospectiva social y revolución científico tecnológica*, México, DF., UNAM-UAM, 1992, 183-201.
- Collingridge, David. *The Social Control of Technology*, Londres: Frances Pinter, 1980.
- Comité Nacional Sistema Producto Papa. *Monografía del sector papa*, México, DF., Comité Nacional Sistema Producto Papa, 2013.
- CONACYT/CONABIO. *Organismos vivos modificados en la agricultura mexicana: desarrollo biotecnológico y conservación de la diversidad biológica*, CONACYT/CONABIO, 1999.
- Consejo Nacional. *Algodón mexicano mucha fibra*, Comité Nacional Sistema Producto Algodón, A.C., 2011.
- Cristina, Juan. "Bioética, biología molecular y biotecnología: una aproximación ética a las ciencias básicas y sus aplicaciones", en *Diálogo político*, Número 1, 2003, 63-80.
- D.O.F. *Acuerdo por el que se crea la comisión intersecretarial de bioseguridad y organismos genéticamente modificado*, D.O.F., 1999.
- De Puelles, Manuel. "Introducción", en *Revista Ibero-*

- americana de educación , 1998, 9-11.
- Dibden, Jacqui, David Gibbs y Chris Cocklin. "Framing GM crops as a food security solution", en *Journal of Rural Studies*, 2013, 50-70.
- Ellstrand, Norman. *Dangerous liaisons? When Cultivated Plants Mate with Their Wild Relatives*, Baltimore, The Johns Hopkins University Press, 2003, pp. 244.
- Esteva, Gustavo. "Los árboles de las culturas mexicanas", en Gustavo Esteva y Catherine Marielle, *Sin maíz no hay país*, México, DF., CONACULTA, 2003, 17-82.
- FAO. "El maíz en la nutrición humana", en Colección FAO: Alimentación y nutrición, núm. 25, Roma, 1993.
- Fári, Miklós y Ubu Pál Kralovánszky. "The founding father of biotechnology", en *International Journal of Horticulture Science*, 12, 2006, 9-12.
- Fischer, Frank. *Citizens, Experts and the Environment*, Londres: Duke University Press, 2002, 336.
- FIRA. *Oportunidades de desarrollo del maíz mexicano. Alternativas de competitividad*, Fideicomisos Instituidos con Relación a la Agricultura (FIRA), boletín informativo, núm. 309, 1998.
- Foladori, Guilllerno y Noela Invernizzi. *Implicaciones sociales y ambientales del desarrollo de las nanotecnologías en América Latina y el Caribe*, Zacatecas/ Curitiba: RELANS/IPEN, 2011.
- Fransen, Lindsey, Antonio La Vina, Fabián Dayrit, Loraine Gatlabayan, Dwi Santosa y Soeryo

- Adiwibowo. *Integrating Socio-Economic Considerations into Biosafety Decisions: The role of Public Participation*, Washington, DC., World Resources Institute, 2005.
- Fresco, Louise. "Genetically Modifies Organisms in Food and Agriculture: Where are We? Where are We Going?", en *Crop and Forest Biotechnology for the Future*, Falkenberg, Suiza: Royal Swedish Academy of Agriculture and Forestry, 2001, 1-7.
- Gaeta, Rodolfo y Nélida Gentile. *Thomas Kuhn. De los paradigmas a la teoría evolucionista*, Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, 1996.
- Gagnon, Marc-André. "Corporate Influence Over Clinical Research: Considering the Alternatives", en *Rev Prescrire*, Abril, vol. 32, núm. 342, 2012, 311-314.
- Gálvez, Amanda y Rosa Luz González. "Cultivos biofarmacéuticos y su posible riesgo", en CONABIO, *Capital Natural de México*, México DF., CONABIO, vol. II, 2009, 331-332.
- Garforth, Kathryn. *Socio-Economic Considerations in Biosafety Decision-Making: an International Sustainable Development Law Perspective*, Montreal, CISDL, 2005.
- Gassmann, Aaron, Jennifer Petzold-Maxwell, Erich Clifton, Mike Dundbar, Amanda Hoffmann, David Ingber y Ryan Keweshan. "Field-Evolved Resistance by Western Corn Rootworm to Multiple *Bacillus Thuringiensis* Toxins in Transgenic Maize", en *PNAS*, 2014, 5141-5146.

- Giddens, Anthony. *Las consecuencias de la modernidad*, Madrid, Alianza Editorial, 1993, 88.
- Giddens, Anthony. *Un mundo desbocado. Los efectos de la globalización en nuestras vidas*, México, Santillana, 2003.
- Goldstein, Daniel. *Biotecnología, universidad y política*. México, DF, Siglo XXI, 2003, 257.
- González, Arcelia. *Propiedad intelectual y diversidad biológica. Hacia una política de protección y uso sustentable de los recursos genéticos en América Latina*, Tesis de Maestría en Estudios Latinoamericanos, UNAM, 2001, 226.
- González, Rosa Luz. *La biotecnología agrícola en México: efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad*, México, DF., UAM, 2004, 424.
- González, Rosa Luz y Michelle Chauvet. "Las redes de innovación en papaya transgénica: el caso de la resistencia al virus de la mancha anular", en Antonio Arellano, Michelle Chauvet y Ronny Viales, *Redes y estilos de investigación. ciencia, tecnología, innovación y sociedad en México y Costa Rica*, México, DF., Porrúa, UAM, UAEM, 2004, 165-200.
- González, Rosa Luz y Michelle Chauvet. "Controversias y participación social en bioseguridad en el México. El caso del maíz transgénico", en J. Seefoó, *Desde los colores del maíz. Una agenda para el campo mexicano*, México: Colegio de Michoacán, 2008, 50 -75.

- From Farming to Biotechnology*, Londres: Blackwell, 1987.
- GRAIN. "Transgénicos: ¿20 años alimentando o engañando al mundo?", en *Soberanía Alimentaria*, 2013, 9-13.
- Hernanz, José Antonio. *Guía de orientación en el presente. Hitos para la comprensión de la tecnociencia en la sociedad del conocimiento*, Jalapa, Veracruz: Universidad Veracruzana, 2012, 195.
- Herrera, Julián A. "El principio precautorio en la era de los OGM: incertidumbre y conflicto internacional", en *Medio ambiente y derecho. Revista electrónica de derecho*, México, 2005.
- Hisano, Shuji. "Ethicisation of Biotechnology Research, Politicisation of Biotechnology Ethics", en Rui-venkamp Guido, Shuji Hisano y Jongerden Joost, *Reconstructing Biotechnologies*, Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2008, 165-184.
- Jasanoff, Shelia. *Science and Public Reason*, Nueva York, Earthscan/Routledge, 2012.
- Jasanoff, Shelia. "Biotechnology and Empire: The Global Power of Seeds and Science", en *Osiris*, núm. 21, 2006, 273 - 292.
- Jordan, Andrew y Timothy O'Riordan. "The Precautionary Principle in Contemporary Environmental Policy and Politics", en Carolyn Raffensperger y Joel Tickner, *Protecting Public Health and the Environment*, Washington, DC., Island Press, 1999, 15-35.
- Kenney, Martín. "Propiedad intelectual, biotecnología

- y desarrollo internacional”, en Rosalba Casas, Michelle Chauvet y Dinah Rodríguez, *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México, DF., UAM-A, IIS/UNAM, IIEC/UNAM, 1992, 51-62.
- Kilman, Scott. “Las ‘supermalezas’ desatan una carreta de herbicidas”, en *The Wall Street Journal*, 2010.
- Kloppenburger Jr., Jack Ralph. *First the seed. The Political Economy of Plant Biotechnology*, Cambridge: Cambridge University, 1988.
- Kuhn, Thomas. *¿Qué son las revoluciones científicas? y otros ensayos*, Barcelona: Paidós, 1989, 151.
- Kuhn, Thomas. *La estructura de las revoluciones científicas*, México: FCE, 1962.
- Lago, Luis. “Efecto socioeconómico de la biotecnología en el cultivo de la papa: el caso de Cuba”, en Michelle Chauvet y Rosalba Casas, *La Biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México, DF., UAM/UNAM, 1992, 235-251.
- Larrión-Cartujo, Jósean. “Historia de las reuniones de Asilomar. Éxitos y fracasos de la autorregulación en las comunidades tecnocientíficas”, en *Revista Digital de Sociología*, (1), 2011, 63-82.
- Lazos, Elena. “Consideraciones socioeconómicas y culturales en la controvertida introducción del maíz transgénico: el caso de Tlaxcala” en *Sociológica*, núm. 83, 2014, 201-240.
- LBOGM. *Ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados*, México, DF., D.O.F., 2005.
- López-Cerezo, José Antonio. “Ciencia, tecnología y

- sociedad: el estado de la cuestión en Europa y Estados Unidos”, en *Revista iberoamericana de educación*, 18, 1998, 41-68.
- López-Munguía, Agustín, Adalberto Noyola, Octavio Ramírez, Rodolfo Quintero, Sergio Revah y Xavier Soberón. “Biotecnología e industria”, en Francisco Bolívar-Zapata, *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el Siglo XXI: retos y oportunidades*, Mexico, DF., SEP-CONACYT, 2001, 245-292.
- López-Pelaéz, Antonio. “Prospectiva y cambio social: ¿cómo orientar las políticas de investigación y desarrollo en las sociedades tecnológicas avanzadas?”, en *ARBOR ciencia, pensamiento y cultura*, 2009, 825-836.
- Mackenzie, Ruth, Francoise Buerhenne-Guilmin, Antonio La Viña, Jacob Werksman, Alonso Ascencio, Julian Kinderlerer, Katharina Kummer y Richard Tapper. *An Explanatory Guide to the Cartagena Protocol on Biosafety*, Gland, IUCN, 2003.
- Mackensie, Donald y Judy Wajcman. *The Social Shaping of Technology*, Maidenhead, Berkshire/ Reino Unido: Open University Press / McGraw-Hill Education, 2006.
- Martínez, José Luis. “Evolución del algodón transgénico en México”, en *VII congreso internacional en ciencias agrícolas*, UABC. Baja California, 2004.
- Massieu, Yolanda. “La floricultura mexicana: tradición, medio ambiente y dependencia tecnológica”, en *La Jornada del Campo*, núm. 69, 2013.

- Massieu, Yolanda. "México y su necesaria ley de bioseguridad: intereses económico-políticos y movimiento social", en *El Cotidiano* núm. 20, 2004, 110-123.
- Massieu, Yolanda. *Biotecnología y empleo en la floricultura mexicana*, México, DF., UAM-A, Colección Sociología, 1997.
- Massieu, Yolanda y Adelita San Vicente. "El proceso de aprobación de la ley de bioseguridad: política a la mexicana e interés nacional", en *El Cotidiano*, 2006, 39-51.
- Massieu, Yolanda, Michelle Chauvet, Yolanda Castañeda, Rosa Elvia Barajas y Rosa Luz González. "Consecuencias de la biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos", en *Sociológica*, núm. 41, 2000, 133-159.
- McMichael, Philip. "Alimentos, el Estado y la Economía Mundial", en *Revista Internacional sobre agricultura y alimentos*, 1991, 86-102.
- McMichael, Philip. "Agrofuels in the Food Regime", en *Journal of Peasant Studies*, 2012, 609-629.
- Mendoza, Elva. "Transnacionales, permisos para sembrar 2 millones de hectáreas de algodón transgénico", en *Contralínea*, 2013, 1-8.
- Mergler, Donna. "Women, Agriculture and Pesticides", en *32 Aniversario del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C.*, ponencia, Hermosillo, Sonora, 18 de abril, 2014.
- Mooney, Patt. *Semillas de la tierra ¿un recurso privado?*, Ottawa, Canadian Council for International

- Co-operation y la International Coalition for Development Action, 1979.
- Morales, César. *Las nuevas fronteras tecnológicas: promesas, desafíos y amenazas de los transgénicos*, Santiago de Chile: CEPAL, 2001.
- Morales, Tayde, y López-Herrera, Agustín. *La propiedad intelectual en los tiempos de la revolución tecnológica*. México, DF., UACH, 2008.
- Nicholson, Simon. *Sustainable, Development, Law and Policy*, IX, 2008, 57-61.
- Nicholson, Simon. *Governing the Gene: the Politics of Transgenic*, Tesis de doctorado, Washington, DC., American University, 2009.
- Olivé, León. *El bien, el mal y la razón. Facetas de la ciencia y de la tecnología*, México, DF., UNAM/Paidós, 2000, pp. 212.
- Onofre, Rubens. "Calidad de los análisis de riesgo e inseguridad de los transgénicos para la salud ambiental y humana", en *Rev Peru Med Exp Salud*, 2009, 74-82.
- Onofre Nodari, Rubens y Pedro Guerra. "La bioseguridad de las plantas transgénicas", en CEPAL, Jorge Katz y Alicia Bárcena (Eds.), *Los transgénicos en América Latina y el Caribe. Un debate abierto*, Santiago de Chile: CEPAL, 2004, 111-122.
- Ortega, César y Raúl Ochoa. "La importancia de la soya en la estructura agroindustrial de México", en *Claridades Agropecuarias*, núm. 118, 2003, 17-27.
- Ortega-Packsa, Rafael. "La diversidad del maíz en México", en Gustavo Esteva y Catherine Marielle,

- Sin maíz no hay país*, México, DF., Conaculta, 2003, 123-154.
- Ortíz, Sol, Exequiel Ezcurra, Bernd Schoel, Francisca Acevedo, Jorge Soberón y Allison Snow. "Absence of Detectable Transgenes in Local Landraces of Maize in Oaxaca, Mexico (2003-2004)", *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102, 2005, 12338-12343
- Otero, Gerardo, Manuel Poitras y Gabriela Pechlaner. "Political Economy of Agricultural Biotechnology in North America: The Case of rBST in La Laguna, Mexico", en G. Otero, *Food for the Few*, University of Texas Press, 2008, 159-188.
- Paganelli, Alejandra, Helena Gnazzo, Silvia Acosta y Andrés Carrasco. *Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling*, *Chemistry Res. Toxicology*, 2010.
- Peralta, Lisy y Catherine Marielle. "La protección oficial del maíz frente a los transgénicos: una simulación de Estado", en Elena Álvarez-Buylla y Alma Piñeyro, *El maíz en peligro ante los transgénicos*, México, DF., UNAM/CICHA/UCCS/UV, 2013, 441-454.
- Perea, Ernesto. "Cae producción de algodón en México; esperan buen precio", en *Imagen Agropecuaria*, 2013.
- Pérez, Carlota. "Las nuevas tecnologías: Una visión de conjunto", en C. Ominiani, *La Tercera Revolución Industrial: Impactos Internacionales del Actual*

- Viraje Tecnológico*, Buenos Aires: RIAL, 1986, 43-90.
- Pérez, Carlota. *Revoluciones tecnológicas y capital financiero*, México, DF., Siglo XXI, 2003.
- Perez-Miranda, Rafael. *Biotecnología, sociedad y derecho*, México, DF., UAM-Miguel Ángel Porrúa, 2001.
- Pilcher, Jeffrey, *!Que vivan los tamales!: Food and the Making of Mexican Identity*, Albuquerque: University of New Mexico Press, 2000.
- Piron, Florence y Thibaut, Varin. "El caso Séralini y la confianza en el orden normativo dominante de la ciencia", en *Sociológica*, núm. 84, 2015, 231-274.
- Quist, David e Ignacio Chapela. "Transgenic DNA Introgressed Into Traditional Maize Landraces in Oaxaca, Mexico", en *Nature* núm. 414, 2001, 541-543.
- Ramos, Alberto. "El valor y significado de los saberes tradicionales", en G. Esteve y Catherine Marie-lle, *Sin maíz no hay país*, México, DF., CONACULTA, 2003, 251- 258.
- Reyes, C.P. *El maíz y su cultivo*, México, DF., AGT, 1990.
- Rivera, Eduardo. "Los desafíos éticos de la medicina y la genética contemporáneas", en *Diálogo político* (1), 2003, 11-30.
- Roca, María Mercedes. "Bioseguridad de organismos genéticamente modificados", Conferencia impartida en CIBIOGEM, México, DF., 29 de septiembre, 2013.
- Robles, Héctor. "Lo que usted siempre quiso saber del campo", en *La Jornada del campo*, pp. 1, 2007.
- Rodríguez, Concepción. "Respuesta de Helicoverpa

- zea a la Deltaendotoxina Cry1Ac de *Bacillus thuringiensis*: 1997-2007", en *Segundo taller de monitoreo de organismos genéticamente modificados*. México, D.F., 2007.
- Rubio, Blanca. *La Crisis Alimentaria*, México DF., Porrúa, UNAM, 2013.
- Rudiño, Lourdes. "Gigantes globales dominan distribución, comercialización y procesamiento de granos", en *La Jornada del Campo*, 13 de marzo, 2010, 11.
- Rudiño, Lourdes. "Posponen experimentos para maíz transgénico. Protestas de ecologistas doblan a Sagarpa", en *El Financiero*, 21 de septiembre, 2006, 15.
- Samsel, Anthony y Stephanie Seneff. "Glyphosate's Suppression of Cytochrome P450 Enzymes and Amino Acid Biosynthesis by the Gut Microbiome: Pathways to Modern Diseases", en *Entropy* (15), 2013, 1416-1463.
- Sanchís, Irma. *La Vanguardia*. Recuperado el 7 de noviembre de 2012, 2009.
- Sarukhán, José, Patricia Koleff, Julia Carabias, Jorge Soberón, Rodolfo Dirzo, Jorge Llorente-Bousquets, Gonzalo Halffter, René González, Ignacio March, Alejandro Mohar, Salvador Anta y Javier de la Maza. *Capital Natural de México. Síntesis*. México, DF., CONABIO, 2009, 100.
- Sasson, Albert. *Medical Biotechnology. Achievements, Prospects and Perceptions*, Hong Kong, United Nations University, 2005.

- Schmeiser, Piter. "Derechos: productores contra transnacionales. En PRD", en *Transgénicos ¿quién los necesita?*, México, DF, Grupo parlamentario del PRD, Cámara de Diputados, 2005, 39-50.
- Séralini, Gilles-Éric. Long term Toxicity or a Roundup Herbicide and Roundup-Tolerant Generically Modified Maize, *Food and Chemical Toxicology*, 2012, 4221-4231.
- Sharp, Margaret. "Applications of Biotechnology: an Overview", en Martin Fransman, Gerd Junne y Annemieke Roobeek, *The Biotechnology Revolution?*, Oxford, UK: Blackwell, 1995, 163-173.
- Shiva, Vandana. *Cosecha robada. El secuestro del suministro mundial de alimentos*, Barcelona: Paidós, 2003.
- Solleiro, José Luis. *Biotecnología agrícola en México. Oportunidades, retos y perspectivas*, México, DF., AgroBio México, 2007, 192.
- Solleiro, José Luis y Rosario Castañón. *Introducción al ambiente del maíz transgénico. Análisis de ocho casos en Iberoamérica*, México. DF., AgroBio México, 2013.
- Tangelson, Oscar. *Revolución tecnológica, empleo y educación. Reflexiones, decisiones y acciones*, Lanus, Argentina, Universidad Nacional de Lanus, 2010.
- Tollefson, Jeff. "Drought-Tolerant Maize gets U.S. Debut", en *Nature*, 2011, 144.
- USDA. *Monsanto Company Petition (07-CR-191U) for Determination of Non-Regulated Status of Event MON 87460*, United States Department of Agriculture, USDA, 2011.

- Velho, Lea. “La ciencia y los paradigmas de la política científica, tecnológica y de innovación”, en Antonio Arellano y Pablo Kreimer, *Estudio social de la ciencia y la tecnología desde América Latina*, Bogotá: Siglo del Hombre Editores, 2011, 99-125.
- Villalobos, Victor. *Los transgénicos. Oportunidades y amenazas*, México, DF., Mundi-Prensa, 2008, 107.
- Watson, James y Berry Andrew. *ADN. El secreto de la vida*, Madrid: Taurus, 2003.
- Wegier, Ana. *Diversidad genética y conservación de *Gossypium hirsutum* silvestre y cultivado en México*, tesis de doctorado en Ciencias Biomédicas, Instituto de Ecología, México, DF., UNAM, 2013.
- Williams, Robin y Dawn Edge. “The Social Shaping of Technology”, en *Research Policy*, 25, 1996, 865-899.
- Wise, Timothy. “Estado de emergencia para el maíz mexicano”, en José Luis Seefoó, *Desde los colores del maíz. Una agenda para el campo mexicano*, Zamora: El Colegio de Michoacán, A. C., 2008, 167-198.
- Zepeda, Lydia. “GE Food Labelling: Global Policy Polarization”, en *International Consortium on Agricultural Biotechnology Research*, Ravello, 2001.

Referencias electrónicas

- ArgenBio. *Porqué biotecnología* [En línea] ed. ArgenBio, disponible en: <http://www.porquebiotecnologia.com.ar/> [Consultado el 4 de julio de 2013].
- AgroBio, México. *Algodón GM*, 2013 [En línea] ed. AgroBio, disponible en: <http://www.agrobiomexico.com>

org.mx/index.php?option=com_k2&view=item&layout=item&id=94&Itemid=28#sthash.1YuYcl1S.dpuf [Consultado el 6 de diciembre de 2013].

AgroBio, México. *AgroBio México* [En línea] ed. Agro-bio, disponible en: <http://www.agrobiomexico.org.mx/> [Consultado el 01 de agosto de 2013]

Bourges, Héctor y Samuel Lehrer. "Assessment of Human Health Effects", en *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*, capítulo 7, 2004 [En línea] CCA, disponible en: <http://www.cec.org/maize/index.cfm?varlan=espanol> [Consultado el 3 de marzo de 2008].

Brush, Stephen y Michelle Chauvet. "Assessment of Social and Cultural Effects Associated with Transgenic Maize", en *Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico*, capítulo 7, 2004 [En línea] CCA, disponible en: <http://www.cec.org/maize/index.cfm?varlan=espanol> [Consultado el 3 de marzo de 2008].

Chauvet, Michelle, Elena Lazos, Yolanda Castañeda, Ar-celia González, Yolanda Massieu, Lucio Noreiro y Francisco Ávila. "Impactos sociales, económicos y culturales de la posible introducción de maíz genéticamente modificado en México". Resumen ejecutivo y general. *Reporte de investigación*, departamento de Sociología, pp. 40, 2014 [En Línea] DCSH, UAM-Azcapotzalco, disponible en: <http://investigaciondcsh.azc.uam.mx/index.php/reportes-de-investigacion/func-startdown/221/>

[Consultado 11 de febrero de 2015]

Castro, David. *Biotecnología tradicional y convencional. Aplicaciones sectoriales*, 2012 [En línea] disponible en: http://pe.biosafetyclearinghouse.net/modulos_didacticos/huancayo/dcastro01.pdf [Consultado el 07 de junio de 2013].

CBD. *Convention on Biological Diversity* [En línea] CBD, disponible en: <http://bch.cbd.int/protocol/supplementary/> [Consultado el 9 de agosto de 2013].

CBD. *Biosafety Protocol News. 10 years of Promoting Safety in the Use of Biotechnology*, 2013 [En línea] CBD, disponible en: <http://bch.cbd.int/protocol> [Consultado el 5 de septiembre de 2013].

CBD. Informe de la Sexta Reunión de la conferencia de las partes que actúa como reunión de las partes en el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. CDB, 2012 [En línea] disponible en: <http://www.cbd.int/doc/?meeting=MOP-06> [Consultado el 15 de agosto de 2013].

CBD. “Consideraciones socioeconómicas”, en *Convenio de la Diversidad Biológica*. UNEP/CBD/BS/COP-MOP/4/15 17 de marzo de 2008 [En línea] CBD, disponible en: <http://www.cbd.int/convention/> [Consultado el 9 de agosto de 2013].

CEPAL. *La transformación productiva 20 años después. Viejos problemas, nuevas oportunidades*, 2008 [En línea] Naciones Unidas/CEPAL Trigésimo segundo periodo de sesiones de la CEPAL, Santo Domingo del 9 al 13 de junio, disponible en: <http://www.eclac.org/>

- publicaciones/xml/7/33277/2008-117-SES.32-La-transformacion-WEB_OK.pdf [Consultado el 5 de junio de 2013]
- CFIA. *Canadian Food Inspection Agency*, 2012 [En línea] disponible en: <http://www.inspection.gc.ca/plants/plants-with-novel-traits/general-public/gurts/eng/1337406710213/1337406801948> [Consultado el 04 de junio de 2014].
- Chim, Lorenzo. Se amparan apicultores de Campeche contra la siembra de soya transgénica. *La Jornada*, 12 de marzo, 2014 [En línea] *La Jornada*, disponible en: <http://www.jornada.unam.mx/2014/03/12/estados/029n2est> [Consultado 12 de marzo de 2014].
- CIBIOGEM. *Estadísticas*, 2013 [En línea] CIBIOGEM, disponible en: <http://www.conacyt.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/estadisticas> [Consultado 5 de septiembre de 2013].
- COFEPRIS. “CIBIOGEM” COFEPRIS, 2013 [En línea] disponible en: <http://www.cofepris.gob.mx/AZ/Paginas/OGMS/Cibiogem.aspx> [Consultado 14 de junio de 2014].
- CONABIO. CONABIO. *Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad* [En línea] CONABIO, disponible en: <http://www.conabio.gob.mx/> [Consultado el 9 de marzo de 2014].
- CONABIO. *Proyecto global de maíces nativos*, 2010 [En línea] CONABIO, disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.html> [Consultado 17 de febrero de 2014].

CONABIO. *Documento base sobre solicitudes de liberación comercial de maíz genéticamente modificado en México*, 2012a [En línea] CONABIO, disponible en: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/ConsideracionesGralesMaizGMComercial_fin.pdf [Consultado 9 de marzo de 2014].

CONABIO. *Resultado del análisis de riesgo para la liberación al ambiente de soya genéticamente modificada*, 2012b [En línea] CONABIO, disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/> [Consultado el 9 de marzo de 2014].

CONEVAL. “Medición de la pobreza en México y en las entidades federativas 2012”, en CONEVAL, [En línea] disponible en: <http://www.coneval.gob.mx/Paginas/principal.aspx> [Consultado el 30 de enero de 2014].

Domènech, Miquel y Francisco Javier Tirado. “Ciencia, tecnología y sociedad: nuevos interrogantes para la psicología” Universidad de Barcelona, 2002 [En línea] disponible en: https://www.zotero.org/groups/pmv_cas/items/itemKey/VV8GBI9G [Consultado el 16 de mayo de 2013].

FAO. “Glosario”. Semillas, Diversidad y Desarrollo. FAO [En línea] disponible en: <http://www.fao.org/docrep/004/y2775s/y2775s00.htm#Contents> [Consultado 9 de septiembre de 2013]

FAO. *Panorama de la seguridad alimentaria y nutricional en México 2012, 2013* [En línea] FAO, Representación México, disponible en: <http://coin.fao.org/cms/world/mexico/PaginaInicial.html>

[Consultado el 16 de julio de 2013].

FAO. *Una introducción a los conceptos básicos de seguridad alimentaria*, 2011 [En línea] FAO, disponible en: <http://www.fao.org/docrep/014/al936s/al936s00.pdf> [Consultado el 10 de noviembre de 2012].

FAO. *Tratado Internacional sobre los Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura*, 2009 [En línea] disponible en: <http://www.planttreaty.org/es/content/informaci%C3%B3n-general> [Consultado el 8 de junio de 2014].

FAO. *Los Organismos genéticamente modificados, los consumidores, la inocuidad de los alimentos y el medio ambiente*, 2001 [En línea] FAO, disponible en: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/003/x9602s/x9602s00.pdf> [Consultado el 27 de junio de 2013].

INEGI. *Instituto Nacional de Estadística y Geografía*, 2007 [En línea] México, disponible en: <http://www.inegi.org.mx/> [Consultado el 15 de noviembre de 2012].

James, Clive. *Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops: 2014*. ISAAA Brief 49-2014: Executive Summary, 2014 [En línea] ISAAA, disponible en: www.isaaa.org [Consultado el 3 de marzo de 2015]

Laarrión-Cartujo, Joséan. *¿Qué significa estar bien informado? El problema del etiquetado de los alimentos transgénicos en la sociedad de la información y el conocimiento*, 2013 [En línea] Departamento de Sociología, Universidad de Navarra, disponible en <http://www.fes-web.org/uploads/files/>

- modules/congress/10/grupos-trabajo/ponencias/161.pdf, [Consultado el 10 de abril de 2013].
- Larson, Jorge y Michelle Chauvet. *Comprendiendo biología compleja y valores comunitarios: comunicación y participación*, Montreal, Capítulo 9, 2004 [En línea] CCA, disponible en: <http://www.cec.org/maize/index.cfm?varlan=espanol> [Consultado el 3 de marzo de 2008].
- Lazos, Elena y Michelle Chauvet. *Análisis del contexto social y biocultural de las colectas de maíces nativos en México. Proyecto global de maíces nativos. Primer informe, 2011* [En Línea] disponible en: <http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/proyectoMaices.htm> [Consultado el 30 de Agosto de 2013].
- Lin, Lih-Ling. *Protocolo sobre Bioseguridad. Los países exportadores juegan una movida adelantada*, 2004 [En línea] Third World Network, disponible en: http://old.redtercermundo.org.uy/revisita_del_sur/texto_completo.php?id=2538 [Consultado el 9 de julio de 2013].
- López-Mungía, Agustín. *La Jornada en la Ciencia* [En línea] La Jornada, disponible en: <http://ciencias.jornada.com.mx/investigacion/ciencias-quimicas-y-de-la-vida/investigacion/reflexiones-sobre-los-resultados-de-seralini-acerca-de-danos-por-maiz-transgenico> [Consultado el 22 de mayo de 2013].
- Monsanto. “Acerca del glifosato”, en *Monsanto* [En línea] disponible en: <http://www.monsanto>.

- com/global/ar/noticias-y-opiniones/pages/acerca-del-glifosato.aspx [Consultado el 03 de junio de 2014].
- NABU. "Cultivos transgénicos y biodiversidad. Impacto mundial de los cultivos modificados", en *Nabu Nature and Biodiversity Conservation Union*, disponible, 2009 [En línea] disponible en: <http://www.nabu.de/themen/gentechnik/> [Consultado el 30 de agosto de 2013].
- PCSB. *El protocolo de Cartagena Sobre Seguridad de la Biotecnología*, 2000 [En línea] disponible en: <http://bch.cbd.int/protocol/> [Consultado el 05 de septiembre de 2011].
- SIAP. *Servicio de información agroalimentaria y pesquera*. 2013 [En línea] SAGARPA, disponible en: http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=350 [Consultado el 6 de diciembre de 2013].
- Soubes, Matilde. *La biotecnología y sus aplicaciones*, 2009 [En línea] disponible en: <http://www.ort.edu.uy/fi/pdf/soubesbiotecnologiaort201009.pdf>, [Consultado el 6 de junio de 2013].
- The British Psychological Society*. 2012 [En línea] disponible en: <http://www.bps.org.uk/news/turn-your-smart-phone-beat-stress>, recuperado el 28 de mayo de 2013, [Consultado el 6 de junio de 2013].
- UNESCO. *Organización de Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*, 1997 [En línea] disponible en: <http://portal.unesco.org/es/>

ev.php-URL_ID=13177&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html [Consultado el 25 junio de 2013].

Wise, Timothy. "World Health Organization: GM-crop herbicide a probable carcinogen" en *Food Tank*, 2015 [En línea] disponible en: http://foodtank.com/news/2015/03/world-health-organization-gm-crop-herbicide-a-probable-carcinogen?utm_source=GDAE+Subscribers&utm_campaign=cd4ea24384-Food-Tank_3_25_2015&utm_medium=email&utm_term=0_72d4918ff9-cd4ea24384-52151305 [Consultado 4 de abril de 2015].

Zaid, A., H.G. Hugues, E. Porceddu, F. Nicholas. *Glosario de biotecnología para la agricultura y la alimentación*. FAO, 2004 [En línea] disponible en: <http://www.fao.org/economic/esa/seed2d/glossary/es/> [Consultado el 13 de septiembre de 2013].

Zhong, Hai. "Primer: The Pharmaceutical Industry" en *Operation Healthcare Choice*, 2004 [En línea] disponible en: <http://americanactionforum.org/insights/operation-healthcare-choice-the-american-action-forum-on-healthcare>, [Consultado el 11 de junio de 2013].

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS, 7

INTRODUCCIÓN, 9

I. EL DESARROLLO DE LA BIOTECNOLOGÍA, 13

II. BIOSEGURIDAD, 71

III. LA AGROBIOTECNOLOGÍA EN MÉXICO, 123

IV. DEBATE EN TORNO DE LA BIOTECNOLOGÍA AGRÍCOLA, 183

GLOSARIO, 215

BIBLIOGRAFÍA, 231

Biotechnología y sociedad
es una publicación de la
DIRECCIÓN DE PUBLICACIONES Y PROMOCIÓN EDITORIAL
DE LA COORDINACIÓN GENERAL DE DIFUSIÓN
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA.

Esta obra se terminó de imprimir en diciembre de 2015
en los talleres gráficos de Rectoría General de la Universidad
Autónoma Metropolitana. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines núm
5157 col. Guadalupe, Tlalpan, 14610, México, D.F.

En su composición se utilizó la familia tipográfica Palatino,
la formación estuvo a cargo de DCG Rosalía Contreras Beltrán.

La edición consta de 1 000 ejemplares y estuvo al cuidado
de Brenda Ríos.



Con el enfoque de los estudios sociales de la ciencia, la tecnología y la innovación se analizan la biotecnología en general y la biotecnología agrícola en particular. Se presentan los casos de aplicación de ésta a determinados cultivos en México. Los alimentos son un tema muy sensible; por tanto la modificación genética de la producción agroalimentaria ha generado controversias y tensiones entre diversos actores sociales que sostienen un intenso debate. El libro plantea los argumentos en torno a los riesgos, incertidumbres y preocupaciones que nutren la discusión, con la firme certeza de que el conocimiento de las repercusiones sociales y ambientales de la agricultura transgénica contribuye a la búsqueda de un uso seguro y responsable de las nuevas tecnologías, donde no puede quedar excluida la participación social.