



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POSGRADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA**

**LA CONTROVERSI A TECNOCIENTÍFICA Y SOCIAL SOBRE LOS ORGANISMOS
GENÉTICAMENTE MODIFICADOS.**

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

DOCTORA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA:

LEONORA MILÁN FE

DIRECTOR: DR. JORGE ENRIQUE LINARES SALGADO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

COMITÉ TUTOR: DRA. ELENA ÁLVAREZ-BULLYA (INSTITUTO DE ECOLOGÍA) Y DR.

LEÓN OLIVÉ MORETT (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS)

MÉXICO, D. F. ENERO 2013

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por la beca de estudios de Doctorado otorgada durante el periodo de agosto de 2008 hasta junio de 2012.

Al Dr. Jorge Linares, por todo el apoyo otorgado, la paciencia, las correcciones, las sugerencias, y el querer seguir trabajando juntos en un futuro cercano.

A mis sinodales, la Dra. Elena Álvarez-Buylla, el Dr. León Olivé, la Dra. Alejandra Covarrubias y la Dra. Ana Barahona, por todos sus valiosos comentarios y por el apoyo brindado.

A Fabiola, Noemí, Elizabeth y el resto del equipo del Posgrado en Filosofía de la Ciencia, por hacer los trámites menos infernales.

A mi familia, a Sofía, Iván, Jimena, Baxter, Clora, Weri, Andrea, Mariana H, Martha, Copi, Daniel, Vélez, Dani, Nitta, Julio, Ileri y Maria Paula por la compañía y el cariño. Los amo sin control.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1: LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS	8
Proceso de construcción de un OGM	10
Una sucinta historia de los OGMs	13
Situación actual	16
OGMs como tecnociencia controversial	17
<i>CAPÍTULO 2: LAS CONTROVERSIAS TECNOCIENTÍFICAS</i>	
<i>21</i>	
CAPÍTULO 3: CONTROVERSIAS SOBRE LOS PARADIGMAS CIENTÍFICOS EN TORNO A LA FORMA EN QUE LOS GENOMAS SE EXPRESAN EN LOS FENOTIPOS	26
Determinismo-reduccionismo-genocentrismo	26
Organicismo-epigénesis	32
Reduccionismo vs. Organicismo y los OGMs	36
Equivalencia sustancial	39
CAPÍTULO 4: CONTROVERSIAS SOBRE LAS PATENTES DE ORGANISMOS VIVOS MODIFICADOS	49
Propiedad industrial	50
Patentes	52

Variedades vegetales	56
Patentes de organismos vivos	58
Historia de las patentes de organismos vivos	59
Biotecnología y sistema de patentes	63
Algunos problemas relacionados con el sistema de patentes	66
Críticas a la concesión de patentes a los OGMs	68
CAPÍTULO 5: CONTROVERSIA SOBRE LOS SISTEMAS DE	
DESARROLLO SOCIOECONÓMICO	75
Países en desarrollo, producción de alimentos e incorporación de sistemas de	
producción industrializados	78
OGMs y países en desarrollo en el marco de los sistemas de	
producción	84
DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	89
Sobre la controversia misma	89
Los paradigmas científicos a debate	92
Las patentes	93
Conflicto de intereses	95
Monopolios	98
Nuestra actitud no es democrática	99
Transgénicos: tecnociencia no sustentable	102
Situación actual y escenarios futuros hipotéticos	103
Principio de precaución como posible herramienta	105
BIBLIOGRAFÍA	[1]

LA CONTROVERSIA TECNOCIENTÍFICA Y SOCIAL SOBRE LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS.

INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico de la humanidad ha sido de tal magnitud en los últimos años que en numerosas ocasiones somos incapaces de analizar a fondo y conocer completamente las consecuencias que dicho desarrollo puede tener a futuro. Es decir, nuestra capacidad tecnológica ha sobrepasado por mucho a nuestra capacidad predictiva, y por lo tanto, también a nuestra capacidad de control de los efectos sociales y ambientales de las tecnologías. Las áreas de la biotecnología y de la ingeniería genética son un claro ejemplo de lo anterior. Y otro claro ejemplo, más específico aún, producto de estas dos disciplinas, es el de los organismos genéticamente modificados (OGMs).

Las controversias tecnocientífica y social sobre los OGMs se pueden estudiar desde las discusiones sobre el concepto de *tecnociencia*. Jorge Linares (2008) define la tecnociencia como “una nueva modalidad social de práctica tecnológica que revolucionó también la práctica científica, al fusionar el *conocer* científico y el *producir* tecnológico en una unidad de acción destinada al desarrollo e innovación de objetos técnicos... La tecnociencia vincula la información y el conocimiento científicos, las habilidades y destrezas técnicas para la producción industrial de artefactos y dispositivos tecnológicos”. El autor complementa lo anterior definiendo el objetivo de las tecnociencias; mantiene que “no se restringen a explicar lo que pasa en el mundo, pues su objetivo principal es la innovación tecnológica y la intervención pragmática, para lo cual subordinan e instrumentalizan el conocimiento científico.” Hay que enfatizar, además, que la tecnociencia se encuentra ligada al interés industrial y comercial, que subordina y determina los criterios y los fines de la investigación tecnocientífica.

Entendiendo el contexto tecnocientífico en que se insertan, definimos a los organismos genéticamente modificados (OGMs) como aquellos organismos vivos cuyo material genético ha sido alterado artificialmente mediante técnicas de ADN recombinante para combinar porciones

de los genomas rompiendo las barreras reproductivas que, en general, limitan el intercambio de este material entre organismos de distintas especies biológicas.

La "fabricación" de este tipo de organismos se ha visto envuelta en controversia desde el momento en el que empezaron a aparecer en el mercado internacional. La preocupación, que se ha extendido en varios sectores sociales (consumidores, agricultores, científicos, organizaciones ciudadanas, agencias gubernamentales, organismos internacionales, etc.), es inédita; pocas veces, con anterioridad, la sociedad se había enfrentado a una tecnología con riesgos y efectos tan inciertos, ya que podría tener alcances globales e irreversibles.

Un grupo de actores no sólo la defienden sino que mantienen que es fundamental para la supervivencia de los seres humanos, quienes nos encontramos a merced de una posible crisis de falta de alimentos en un futuro no muy lejano. Por esto, esta tecnociencia se ha propuesto como la base para la solución para los problemas de hambre, desnutrición y pobreza de los países en desarrollo, e incluso de los que posiblemente tendrían, en un futuro, las naciones desarrolladas, ya que la población mundial continúa creciendo, pero el área de suelo disponible para la producción de alimentos es finita y cada vez más escasa. Si las poblaciones siguen aumentando, como se ha predicho, existirá, por supuesto, un consiguiente aumento en las necesidades de alimento suficiente para estos crecientes números.

Se ha propuesto que los OGMs constituyen una solución emergente para esta amenaza. Las razones por las que se ha visto a los OGMs como la respuesta a todos estos problemas son las siguientes: la producción de alimentos GM puede disminuir los costos de producción, mientras se aumenta el potencial productivo de los productos, ya que la tecnología GM permite que los productos tengan una mayor vida de anaquel, que se aumente su rendimiento y que los cultivos sean resistentes a plagas y herbicidas: puede, incluso, lograr que prescindamos eventualmente del uso de agrotóxicos o que su uso disminuya. Hay quienes ven en la ingeniería genética una herramienta potencial para aumentar el rendimiento de la producción de alimentos existente y posiblemente para cultivar en regiones del mundo donde la agricultura es marginal. Además, se ha publicitado que se producirán OGMs con incrementos significativos en su valor alimenticio, por ejemplo, al presentar precursores de algunos nutrientes elementales, como la vitamina A, disminuyendo así ciertos riesgos a la salud.

Sin embargo, la opinión anterior no es universal. El público consumidor, agrupaciones ciudadanas ambientalistas y científicos expertos en este campo han cuestionado que sean una tecnociencia segura y eficiente por diversas razones, siendo la principal de ellas la preocupación por la seguridad sanitaria y ambiental que surge de la identificación de efectos a largo plazo y riesgos inherentes que pueden tener los OGMs, particularmente aquellos que se liberan al ambiente. Esto nos lleva a afirmar que la mayor preocupación relacionada con los OGMs es referente a los cultivos genéticamente modificados, cuya liberación al medio es especialmente difícil de controlar y monitorear, y cuya propagación es difícil de contener. La extensión generalizada de uso de OGMs, al que aspiran los dueños de las patentes, puede generar efectos ambientales problemáticos o riesgosos. Las plantas GM podrían eventualmente reducir la biodiversidad mediante transferencias genéticas y contaminación de las variedades nativas o especies silvestres emparentadas con los cultivos transgénicos (como se identificó en el caso del maíz en México en Quist y Chapela, Serratos, Piñeyro *et al.*), haciéndolas perder sus características únicas por la eventual acumulación de transgenes.

Estos actores sociales han argumentado, además, que la introducción de los OGMs en los países en desarrollo puede desencadenar tantos o más problemas como supuestas ventajas y beneficios, dado que implican riesgos novedosos de alcances globales e irreversibles, y además se han desarrollado para uso en unidades productivas agroindustriales con las mismas limitantes potenciales y problemas de sustentabilidad que presentaba este tipo de agricultura antes de los OGMs. Por ejemplo, en el sistema actual el cultivo de OGMs en un país en desarrollo no genera beneficios a la mayoría de los productores, sino a la compañía trasnacional que vende las semillas y, en todo caso, a los grandes productores nacionales que estén en posibilidad de competir en el mercado de los transgénicos. No sólo no genera beneficios para la mayoría, sino que, en algunos casos, podría generar monopolización del mercado y distorsiones en la competencia económica.

También existe una controversia tecnocientífica sobre la suficiencia y sustentabilidad de los cultivos transgénicos. No ha podido demostrarse que contribuyan a incrementar notablemente la producción ni la eliminación del uso de pesticidas y otros agroquímicos. Aun así, esta tecnociencia es defendida por un número significativo de científicos, que mantienen que los transgénicos son ventajosos y que este tipo de riesgos probables se encuentran controlados gracias al uso de análisis de riesgos basados en el concepto de "equivalencia

sustancial". Esto se fundamenta en un paradigma reduccionista/determinista que parecería ya no tener cabida en la biología molecular y que, sin embargo, persiste. Los problemas asociados a este paradigma y al concepto de equivalencia sustancial son parte del primer punto controversial que analizaré en este trabajo.

Además, muchos países en desarrollo carecen de la capacidad de vigilar y monitorear el crecimiento, expansión y efectos de los OGMs sembrados, lo que genera riesgos adicionales. Sin embargo, en declaraciones de algunos "expertos" en países como el nuestro, se dan por hecho los beneficios, manifestando incluso que estos están agronómicamente comprobados, y se presiona por una aprobación veloz de este tipo de cultivos; el argumento detrás es que, de no aprobarse, los países en desarrollo seguirán incrementando la brecha tecnológica entre ellos y los países desarrollados. Así se han generado, incluso, aprobaciones "express" de leyes y reglamentos, y en algunos casos, modificaciones o adecuaciones de sus reglamentos, o incluso incumplimiento de éstas, a favor de liberaciones a distintas escalas. Estas liberaciones son impulsadas por las industrias de producción de semillas y productos agronómicos, a quienes les generan beneficios inmediatos, eludiendo las regulaciones y monitoreos necesarios. Este tipo de argumentos, relacionados con los modelos de desarrollo (por ejemplo, del sistema de producción de alimentos global y la participación en éste de las grandes compañías agrícolas), son parte del segundo punto controversial que puede ser identificado.

Entonces, independientemente de los argumentos tecnológicos y "humanitarios" que se han aducido para promover globalmente la tecnología de los OGMs, un factor determinante en su desarrollo lo constituyen los intereses económicos de las corporaciones que controlan ese mercado. Este interés económico se sustenta en el sistema mundial de patentes¹ y, en última instancia, en la privatización del conocimiento. Se ha argumentado que dichas patentes son fundamentales para promover la innovación científico-tecnológica. Sin embargo, esta argumentación es controversial y amerita ser examinada a fondo: el debate sobre las consecuencias de la manipulación tecnológica de la vida y la privatización del conocimiento en

¹ Una patente es un derecho exclusivo concedido a un agente, sea individual o colectivo, **para explotar comercialmente una invención**, es decir, un **producto o procedimiento** que aporta, en general, una nueva manera de hacer algo o una nueva solución técnica a un problema. Las patentes implican un proceso de privatización del conocimiento, fundamental para la competencia entre capitales mediante el desarrollo tecnológico y económico. De hecho, en muchos países la cantidad de patentes se utiliza, incluso, como un indicador de desarrollo científico y de progreso. Sin embargo, las patentes aceleran de manera artificial, en términos de maximización de ganancias, los procesos de innovación tecnológica y su salida al mercado.

su producción es un componente básico de la controversia general sobre los transgénicos. Por ello, el tema referente a las patentes de OGMs constituye el tercer punto controversial que me parece pertinente resaltar.

El choque entre los grupos de actores sociales ha mantenido abierta la controversia sobre los OGMs por más de 20 años, convirtiéndola en una de las tecnociencias más controversiales de nuestro tiempo. Desde hace varios años, su cultivo y comercialización han sido objeto de discusión, y hasta el día de hoy no se vislumbra una respuesta definitiva ni un consenso claro. Por ello, considero que los OGMs son un modelo paradigmático para estudiar una controversia tecnocientífica actual.

La complejidad de la controversia sobre los OGMs se debe a que en ella se han involucrado una serie de actores fundamentales, desde los desarrolladores de dicha tecnociencia, tanto aquéllos que aportan innovación e investigación hasta aquéllos que la producen y los que la comercializan, los gobiernos y el público consumidor. Cada uno de estos actores sociales tiene intereses particulares relacionados con la expansión o regulación de dicha tecnociencia, y debido al conflicto entre todos estos intereses, aunado a la incertidumbre misma que esta tecnociencia acarrea, es que la controversia se mantiene abierta.

La controversia se mantiene en función de los diversos intereses sociales, procurados por cada uno de los actores pero con diferente peso y poder social, especialmente el de la industria trasnacional que obtiene las mayores ganancias gracias a la permanencia comercial de los OGMs. Es decir, cada una de las partes aporta información que contribuye a apoyar o rechazar esta tecnociencia, de forma tal que ambas posturas se encuentran respaldadas.

¿Qué tanto beneficia o no que esta controversia se mantenga? ¿Cómo nos afecta? ¿Cómo ha logrado mantenerse la controversia abierta por tanto tiempo?

Podemos decir que existe una controversia general que se desarrolla en diferentes niveles. La controversia no es artificial pues existe un alto grado de incertidumbre con respecto a los efectos ambientales de los OGMs, pero se mantiene abierta *artificialmente* por el impulso de los actores más beneficiados: las grandes empresas productoras de transgénicos. Dado lo que sabemos actualmente y el estado del arte de esta tecnociencia, si finalmente se cerrara la controversia, seguramente no sería a favor de estos actores; por ello se mantiene abierta. Juega a favor de la industria que la controversia se mantenga abierta, porque de este modo se mitiga

la mala imagen que tienen otros actores sobre los OGMs que producen, es decir, que si se mantiene la posibilidad de obtener beneficios a partir de ellos, puede creerse que vale la pena enfrentar sus riesgos.

¿Como se utiliza, en concreto, la incertidumbre tecnocientífica? Es un manejo también tecnocientífico: hay un control de la información, de la mercadotecnia, de los medios; hay un extenso cabildeo. La presión mediática y la participación de varios científicos reputados como “voceros” de la industria es un indicador del estado de la controversia. Este manejo de medios es parte del negocio. Así, la controversia se ha extendido a lo largo de más de 20 años, tiempo en el que la tecnología se ha introducido y comercializado, a partir de desacreditaciones a cuerpos de científicos que se manifiestan en contra.

A lo largo de este trabajo, presentaré las características generales de las controversias tecnocientíficas; posteriormente, expondré un análisis de los tres ámbitos o dimensiones controversiales enlistados arriba, es decir, tres dimensiones de esta controversia tecnocientífica en particular, para lo cual los dividiré de la siguiente forma:

- (1) CONTROVERSIA CIENTÍFICA. La tecnociencia de OGMs se fundamenta en un paradigma reduccionista/determinista que parecería ya no tener validez en la biología molecular y que, sin embargo, persiste. Los científicos que la defienden (que provienen principalmente de la bioquímica) mantienen que los transgénicos son ventajosos y que sus riesgos probables se encuentran controlados gracias al uso de análisis de riesgos basados en el concepto de “equivalencia sustancial”. Los problemas asociados a este paradigma y a dicho concepto son parte de la primera controversia que analizaré en este trabajo.
- (2) CONTROVERSIA TÉCNICO-ECONÓMICA. Hay que cuestionarnos en qué se fundamentan las patentes de organismos genéticamente modificados y cuáles son sus consecuencias sociales. ¿Con ellas se promueve el desarrollo de mejores tecnologías (más eficientes, más seguras, más ecológicas, más rentables, más accesibles a todos) en un ambiente de competencia equitativa, o bien se favorecen los intereses de los más grandes corporativos y, por ende, de los monopolios?
- (3) CONTROVERSIA SOCIAL-AMBIENTAL. El tercer ámbito radica en los modelos de

desarrollo que se busca seguir en el sistema económico-político en el que vivimos, y los beneficios y riesgos que los OGMs aportan para dichos modelos. Muchos países en desarrollo carecen de la capacidad de vigilar y monitorear el crecimiento, expansión y efectos de los OGMs sembrados, generando riesgos adicionales. Además, estos organismos están insertos dentro de un sistema de desarrollo especialmente importante, el de la producción de alimentos; las consecuencias de aplicar un modelo de desarrollo monopolístico a la producción del sustento básico de los seres humanos es problemático *per se*, pero más aun si ni siquiera es adecuado para las necesidades de las naciones en desarrollo.

Como puede verse, los tres puntos controversiales no están aislados; cada uno tiene, más bien, un enfoque distinto: mientras que el primero es científico, el segundo es tecnológico y económico y el tercero es económico, social y político. En la controversia sobre los transgénicos convergen, pues, componentes científicos-tecnológicos, éticos, jurídicos y socioeconómicos de interés que deben estudiarse de manera sistemática.

La controversia tecnocientífica sobre los OGMs, además de ser un modelo paradigmático de este tipo de controversias, se mantiene abierta debido a la serie de intereses involucrados en esta tecnociencia. Desde los tres ámbitos controversiales aquí estudiados, se observa que dicha tecnociencia en su estado actual no tiene beneficios que superen a los riesgos, sino que incluso muchas veces es todo lo contrario: hay ausencia de beneficios claros, y una serie de riesgos bastante evidentes o probables, convirtiéndola, contrario a lo que manifiestan los actores de la controversia que la apoyan, en una tecnociencia no sustentable.

CAPÍTULO 1

LOS ORGANISMOS GENÉTICAMENTE MODIFICADOS

El desarrollo, aceptación y permanencia de una tecnociencia es un tema de estudio crucial para entender las dinámicas de las sociedades actuales. En ocasiones, una tecnociencia logra establecerse en el mercado influyendo en la vida de los seres humanos no porque sea, necesariamente, la más adecuada, sino por diversos factores del contexto social en el que se implanta. Las innovaciones tecnocientíficas responden a las necesidades y demandas de la sociedad en la cual se desarrollan, y después de hacerlo comienzan a formar parte de, y por lo tanto, modifican la vida de la sociedad dentro de la cual toman forma.

La introducción y aceptación de una tecnociencia se ha producido en algunos casos sin mayor polémica o discusión; sencillamente se pone a disposición del público y éste la incorpora sin cuestionarla. Sin embargo, hay varios factores que deberíamos tomar en cuenta sobre esta aceptación pasiva. Nuestro desarrollo científico y tecnológico es ahora tan complejo y especializado que la mayoría de la gente se ha distanciado de él y no tiene las posibilidades o capacidades para seguirlo o analizarlo detalladamente. Desde luego, si es difícil comprender las novedades tecnocientíficas en sí mismas, resulta más complicado todavía comprender sus posibles consecuencias. Con esto me refiero no sólo al público que termina siendo el receptor del desarrollo tecnocientífico, sino que en ocasiones los mismos desarrolladores se encuentran frente a esta incapacidad de ver más allá y de controlar sus propios artefactos... más aún cuando implican modificaciones y liberaciones de organismos en sistemas ecológicos, evolución en sistemas complejos difíciles de predecir y controlar.

Hay otras tecnociencias que, ya sea por sus características o por las de su introducción, generan polémica y resistencia por parte de algunos consumidores y de grupos ecologistas que intentan velar por el bienestar general. Los OGMs son un caso claro de lo anterior; entre otras cosas, porque la tecnociencia de los transgénicos ha superado la capacidad de los científicos y tecnólogos involucrados en su desarrollo, quienes no son capaces de medir con exactitud sus consecuencias y mucho menos controlarlas. La razón fundamental de que se mantengan

controversiales es que la tecnología de los OGMs involucra desde su origen intereses industriales y comerciales privados (de los que se esperan resultados a corto plazo para recuperar la inversión y obtener beneficios sustanciosos), pero consecuencias globales, públicas y con consecuencias a largo plazo.

La creación de los OGMs depende de procesos biotecnológicos (la biotecnología utiliza organismos vivos o sus componentes para obtener ciertos productos tecnológicos en cantidades o formas no detectados hasta ahora en la naturaleza) basados en la modificación genética (GM, por sus siglas en inglés) de organismos vivos. Estos procesos consisten en manipular y alterar la composición genética de los organismos (animales, plantas o bacterias), al introducir o eliminar genes específicos, que pueden provenir de especies muy distantes o de reinos diferentes (HGPI, 2003; FAO, 2001). La modificación genética forma parte de la ingeniería genética, que es el conjunto de técnicas bioquímicas utilizadas para identificar y manipular el material genético (secuencias de ADN y ARN), extrayéndolo, clonándolo, cortándolo con enzimas de restricción, o bien ligándolo con fragmentos de ADN, que pudieran ser de otros organismos, mediante enzimas que permiten insertarlo dentro de un genoma determinado (Riechmann, 2002).

La Unión Europea brinda la siguiente definición de la tecnociencia que analizamos:

“Los organismos genéticamente modificados (GMOs) y los microorganismos (GMMs) pueden ser definidos como organismos (y microorganismos) en los que el material genético (DNA) ha sido alterado de maneras tales que no ocurren naturalmente mediante apareamiento o recombinación natural. El uso de la ‘tecnología de DNA recombinante’ o ‘ingeniería genética’ permite que ciertos genes individuales sean transferidos de un organismo a otro, algunas veces incluso entre especies no relacionadas.” (UE, 2000)²

Por consiguiente, los OGMs son todos aquéllos que han sido creados mediante la manipulación y alteración de su componente genético, de maneras tales que no ocurren mediante apareamiento o recombinación natural, ya sea al recibir un gen novedoso (y extraño, es decir, externo, que no se encontraría ahí de manera natural), bloquear la función de o perder un gen existente; también es posible activar o sobreexpresar genes que normalmente no estarían activados. La modificación puede hacerse con un gen individual o en un grupo de genes

² Esta cita es una traducción de la autora al texto original. A lo largo de este trabajo hay una serie de citas traducidas; la traducción de todas ellas es de la autora.

que codifican para un rasgo particular. El movimiento de genes entre organismos puede realizarse entre individuos de la misma especie o de especies diferentes. El tipo de OGMs más polémico es el denominado “transgénico”, en el que se transfiere información genética de un organismo hacia otro de una especie, familia, e incluso reino diferente, con el cual no ocurre interfertilidad (Riechmann, 2002; Barrett y Flora, 2000; UE, 2000).

PROCESO DE “CONSTRUCCIÓN” DE UN OGM

En este apartado analizaré brevemente el proceso de producción o “construcción” (como suelen decir los biotecnólogos) de un OGM, alrededor del cual también existen varios componentes controversiales. Sin embargo, antes de abordar dicho proceso, es importante mencionar que los OGMs, al menos en el caso de vegetales, tienen como finalidad ya sea mejorar la calidad del cultivo mismo (brindándole características que no posee) o hacerlo resistente a ciertas plagas o enfermedades.

También es pertinente recordar que desde que comenzó a desarrollarse la agricultura hace miles de años, el ser humano ha seleccionado las plantas que presentan rasgos que resultan útiles o deseables, y los efectos de esta selección fueron transformaciones genéticas en los cultivos; sin embargo, esto se hacía de manera tradicional con conocimientos no científicos, con métodos que caen dentro de la definición de “fitomejoramiento” o mejoramiento vegetal. En el fitomejoramiento también hay una transferencia de genes entre plantas (dentro de la misma especie o entre especies muy relacionadas entre sí) con el propósito de conservar estos rasgos favorables a través de las generaciones, por lo que se realiza mediante métodos naturales de entrecruzamiento. Ahora bien, en los métodos tradicionales de fitomejoramiento, al heredarse conjuntamente varios grupos de características genéticas (hay una mezcla de los genomas completos de los organismos que se cruzan), generalmente se transfieren rasgos indeseables, junto con las características que se busca que prevalezcan. Estos rasgos tienen que eliminarse mediante nuevas cruces pero el proceso es lento, debido a que se requieren varias temporadas de cultivo de estos organismos para que dichas características sean eliminadas exitosamente. La ingeniería genética, además de aumentar la disponibilidad de genes para transferir (por facilitar el intercambio genético entre especies diferentes) también reduce estos tiempos y mejora hasta cierto punto la cuestión de la especificidad de los rasgos introducidos: al poder elegir

exactamente qué genes vamos a introducir o modificar, se evita la transferencia de rasgos indeseables. Es, por lo tanto, más precisa. Sin embargo, las tecnologías actuales de ingeniería genética no son tan específicas como se querría; ésto lo veremos más adelante. (Rowland, 2002; CIMMYT, 2009).

Para producir este tipo de organismos GM tiene que extraerse la información deseada del núcleo de un organismo al que llamaremos "donador"; tiene que ingresarse posteriormente esta información al núcleo de las células de otro organismo, al que llamaremos "receptor"; esta información se incorpora al resto de la información genética de las células receptoras. Después de que estos procesos han sido realizados, lo siguiente es identificar si la información donada ha sido incorporada al genoma receptor, de manera que pueda expresarse adecuadamente, como un componente más de dicho genoma, asegurando así que pueda no sólo heredarse sino también dar lugar a los productos para los cuales codifica originalmente la información insertada (OPS, 2003). Una vez que la planta tenga el gen insertado exitosamente, se reproduce utilizando para ello métodos convencionales. Parece simple cuando se resume de este modo, pero es en realidad un proceso complejo, inexacto y laborioso, que ha dado lugar a muchos más fracasos que éxitos. Evidentemente, la tecnología mediante la cual se generan organismos GM ha ido avanzando a lo largo de los años y se ha vuelto más precisa. Sin embargo, hay muchos detalles que aún no han podido resolverse, como veremos.

Las primeras plantas GM fueron creadas utilizando como vector viviente a unos microorganismos muy particulares, con la capacidad de transferir a organismos vegetales ciertos genes (en forma de plásmidos) responsables de la producción de hormonas que provocan la creación de tumores en las células vegetales: las bacterias *Agrobacterium tumefaciens*. Este método sigue utilizándose, pero se han desarrollado varios otros que brindan también resultados positivos. Por ejemplo, la llamada biobalística. Este es un método mediante el cual se incorpora ADN exógeno a la célula, adherido a partículas metálicas microscópicas que se introducen al núcleo, a altas velocidades en forma de "disparos". Esto se hace mediante una "pistola de genes" que impulsa dichas partículas mediante estallidos de helio. El ADN puede también incorporarse creando pequeños huecos en las membranas celulares mediante técnicas como pulsos eléctricos y microinyecciones (OPS, 2003; CIMMYT, 2009)

Cualquiera que sea el método de transformación utilizado, el gen extraño es insertado en forma aleatoria en uno o más cromosomas de la célula receptora. Como no todas las células

reciben una copia del gen insertado, es necesario identificar las que sí la recibieron al seleccionar a través de seguir la característica otorgada por un gen considerado como 'marcador de selección' como podría ser la resistencia a algún antibiótico o a algún herbicida; o bien, cualquier otra característica que pudiera ser distinguida en las plantas transformadas. Muchas de estas plántulas se desarrollan normalmente y son sometidas a una selección para determinar si está presente el gen de interés y, si funciona adecuadamente al integrarse al genoma del organismo receptor.

Una vez insertado un gen en una planta, suele ser mucho más fácil trasladarlo a otras plantas mediante las técnicas tradicionales de fitomejoramiento. Por ejemplo, tan pronto como se ha producido una planta transgénica que sea, pongamos por caso, resistente a algún insecto; mediante la cruce de esa planta con otras plantas de variedades no modificadas es posible transferir a las segundas la característica de resistencia (OPS, 2003; CIMMYT, 2009).

El problema principal radica en que el proceso de incorporación del gen insertado es impreciso: no existe especificidad, ya que éste se integra en locaciones casi al azar en el genoma del organismo receptor y según el sitio de inserción puede expresarse de distintas formas. Además, generalmente no es un fragmento sino varios los que pasan y en distintos estados, así que se pueden generar secuencias múltiples, incompletas o invertidas (silenciosas). Las secuencias insertadas con tan poca especificidad y de manera tan inexacta desestabilizan el genoma del organismo receptor (OPS, 2003). En palabras de Alvarez-Buylla (expediente sobre maíz transgénico de la UCCS, en prensa), "en una sola construcción transgénica se combinan secuencias regulatorias y codificantes de diversos organismos con arreglos artificiales que no se han generado en la naturaleza y éstos son introducidos a ciegas al genoma de un organismo complejo." Es por ello que se verifica que las plantas transgénicas que se seleccionan, ya sea para fines de investigación o para fines comerciales, sólo contengan una inserción y que no hayan sufrido ningún otro cambio en su estructura genómica como remociones o inserciones de uno o más fragmentos. Actualmente, este tipo de análisis es relativamente sencillo. La inserción es quasi azarosa, por lo que se justifica el decir que la inserción se hace a ciegas, pero a posteriori es posible saber en dónde está y el tipo de cambios que pudo haber generado, lo cual permitiría descartarla si se dan cambios preocupantes o dudosos. Además, es mandatorio seleccionar aquéllas que no muestren inestabilidad genómica. Hay un problema más; un riesgo significativo radica en que la ingeniería genética actual es más efectiva con procesos que son

controlados por un solo gen. Muchas de las características genéticas asociadas con el rendimiento de un cultivo son, sin embargo, poligénicas, donde cada gen individual tiene sólo un pequeño efecto. Este tipo de factores son muy riesgosos, pues no depende meramente de sus impactos en el genoma, sino del sistema ecológico al que se introduce, que por su complejidad resulta difícil de monitorear. Por ello, la tecnología actual de los OGMs no puede por sí misma satisfacer las necesidades a largo plazo. Para lograr objetivos que permitan una mayor producción alimenticia se necesita que haya un mayor desarrollo en la tecnología genética (Atkinson, 1998; Taşkin, 2006).

UNA SUCINTA HISTORIA DE LOS OGMS

En la década de los setenta se hizo posible transferir genes foráneos a células bacterianas para que éstas produjeran proteínas de animales, vegetales y humanos. El primer gen que se transfirió fue el de la insulina humana, la cual se introdujo a una bacteria que se volvió capaz de producir esta hormona. Posteriormente, el desarrollo de la reacción en cadena de la polimerasa (o PCR, por sus siglas en inglés) ha permitido obtener de manera relativamente sencilla fragmentos de ADN correspondientes a diversos genes de prácticamente cualquier organismo, lo que ha facilitado la clonación y/o generación de múltiples construcciones quiméricas (Sermonti, 2005; expediente por publicar). Desde la segunda mitad de la década de los ochenta, se han trasplantado genes entre especies muy distintas con el fin de producir cultivos modificados; por ejemplo, la introducción de genes bacterianos en plantas que de esta manera adquieren resistencia a plagas y/o a herbicidas.

Los cultivos GM comenzaron a comercializarse a gran escala al principio de la década siguiente. A comienzos de los años noventa, China se convirtió en el primer país que introdujo un OGM a nivel comercial, una variedad de tabaco resistente a virus, y posteriormente, tomates también resistentes a virus. En 1994, una variedad de tomate de maduración tardía (Flavr-Savr) desarrollada por Calgene fue el primer cultivo genéticamente modificado producido y consumido en un país industrializado. En 1996, se vendieron por primera vez a campesinos variedades de papa, algodón y maíz con genes *Cry* modificados. Para el 2002 habían sido plantadas en 16 países un total de 58.7 millones de hectáreas cultivadas por 6 millones de campesinos. El área

plantada con cultivos transgénicos aumentó 35 veces entre 1996 y 2002, y los principales cultivos transgénicos han sido soya (62%), maíz (21%), algodón (12%) y canola (5%), en donde los principales rasgos transferidos consistieron en tolerancia a herbicidas (75%) y resistencia a insectos (conferida por una proteína bacteriana proveniente de *Bacillus thuringiensis*, BT por sus siglas) (Wu, 2004; Schnepf, 1998; CIMMYT; Azevedo, 2003).

Hace 15 años se introdujeron las primeras plantas transgénicas que producían sustancias farmacéuticas experimentales e industriales, como colorantes, pinturas, detergentes, jabones, adhesivos, lubricantes y biopolímeros o plásticos. En el año 2005 se llevaron a cabo pruebas clínicas para al menos 30 farmacéuticos en plantas como maíz, papa, lechuga, espinaca, *Arabidopsis* y tabaco (expediente).

Paralelamente a este contexto particular, se generaron una serie de avances tecnológicos en la agroindustria que me parece pertinente narrar.

En la década de 1930 se implementaron técnicas que no involucraban transgénesis pero que sí servían para vencer ciertas barreras reproductivas, lo que permitió llevar a cabo cruces entre especies más distantes, generando nuevos híbridos, variedades y hasta especies (por ejemplo, el Triticale, que es el producto de la cruce entre trigo y centeno). Sin embargo, estas técnicas sólo fueron exitosas entre especies bastante relacionadas entre sí. En la década de 1950 se implementaron técnicas basadas en la aplicación de agentes mutagénicos como la radiación o ciertos químicos para generar mayor variabilidad genética, en búsqueda de nuevas variantes resistentes a ciertas plagas o condiciones de crecimiento. El desarrollo de nuevas plantas híbridas y la transferencia selectiva de genes deseables entre especies relacionadas pero incompatibles también se ha logrado mediante fusión de protoplastos (*Nicotiana tabacum* fue mejorada de este modo); asimismo, se han utilizado mutágenos químicos y radiación para aumentar la variabilidad genética y producir características favorables, mientras que las cruces interespecíficas han creado líneas endogámicas e híbridos no encontrados en la naturaleza. Estos métodos generan cambios significativos en el componente genético de las plantas debidos a la recombinación y acomodo aleatorios de miles de genes. Cuando el intercambio genético de especies relacionadas pero incompatibles no resulta posible por las barreras inherentes que existen en las cruces, puede utilizarse una especie intermedia compatible con las dos especies

parentales como un “puente” para obtener el híbrido deseado (Rowland, 2002; Harlander, 2002; Azevedo, 2003; expediente).

En la segunda mitad del siglo XX, hubo otro tipo de transformación agrícola que implicó el uso de trigo, arroz y maíz híbrido (seguidos por otros híbridos) de alto rendimiento, además de nuevos sistemas de irrigación y fertilización: la Revolución Verde, que aumentó dramáticamente la producción por hectárea (casi duplicándola). Esta revolución presentaba las siguientes cinco características:

- 1) Le daba a los campesinos incentivos para producir y beneficios netos para los agricultores.
- 2) Aumentaba la producción agrícola y la calidad de los alimentos; disminuía sustancialmente los recursos necesarios, como trabajo humano y agua.
- 3) Los agricultores estaban dispuestos a adaptarse cultural y económicamente a las nuevas tecnologías y los consumidores aceptaban sus productos.
- 4) Había cooperación entre aquéllos que brindaban las nuevas tecnologías, los que las regulaban y los que las utilizaban, y había apoyo gubernamental.
- 5) Era aparentemente sostenible y no era meramente aceptable sino deseable para los interesados (campesinos, consumidores y gobierno).

La Revolución Verde representó muchos beneficios desde el punto vista de productividad y comercialización; sin embargo, también representó un giro dramático de la agricultura a una agricultura ominosamente intensiva que prevalece hasta el día de hoy y que ha producido daños a la salud de los agricultores y campesinos y a todos los ecosistemas, pues incrementó el uso de insecticidas, herbicidas y fertilizantes. También promovió la privatización de las semillas y disminuyó el uso de la diversidad al favorecer el uso de semillas híbridas, que en sus inicios se ‘regalaban’ a los países muy pobres y en desarrollo pero que después acabo de reafirmar la dependencia alimenticia de los mismos, pues la gran mayor parte provenia de los grandes monopolios. Por lo tanto, podríamos marcarla como un hito fundamental para el desarrollo una agricultura de múltiples avances tecnológicos que han soslayado el bienestar social, de salud y ecológico.

Hoy en día se habla una nueva revolución: la Revolución Genética. Ésta implica, desde luego, cultivos genéticamente modificados. Sin embargo, después de un comienzo masivo en los Estados Unidos, el progreso de esta revolución se ha ralentizado en su escala global. Como ejemplo, China se ha vuelto más precavida en relación con la producción y comercialización de cultivos GMs. Esto se debe a que muchos consumidores no quieren productos GMs, muchos campesinos no quieren cultivarlos, grupos de influencia abogan en su contra y muchos gobiernos tampoco los apoyan, por las preocupaciones relacionadas con los riesgos ecológicos y de salud, así como los económicos (Wu, 2004; Wisniewski, 2002).

SITUACIÓN ACTUAL

El primer registro de un organismo transgénico ocurrió en 1996. En este año los OGMs se cultivaron comercialmente por primera vez en Estados Unidos. A partir de ese momento, la superficie sembrada con cultivos GMs ha aumentado hasta 60 millones de hectáreas considerando los países donde se cultivan legalmente y otros en donde se cultivan ilegalmente. Estados Unidos de América, donde los transgénicos se han introducido sin mucha resistencia por parte del público, lo que ha favorecido su incorporación rápida a los mercados, es el principal productor de transgénicos, seguido por Argentina; China, aún con sus nuevas políticas más precavidas, registra la mayor tendencia de crecimiento. Europa, especialmente el Reino Unido, ha mostrado mucha más resistencia al cultivo de sus transgénicos en su territorio.

El cultivo transgénico más importante a la fecha es la soya, seguido por el maíz y el algodón, y las razones para su utilización son: el alto rendimiento, la disminución en el uso de plaguicidas y el aumento de resistencia a las plagas.

Esta tecnología ofrece también un mejoramiento de la calidad nutricional de estos alimentos; la producción de fármacos (utilizando las plantas como bio-reactores); el aumento de la resistencia a factores del ambiente (a las sequías, por ejemplo); y la resistencia a enfermedades. Algunos de los cultivos GMs utilizados alrededor del mundo son maíz, algodón, tomate y papa BT (tecnología de resistencia a insectos que describiré más adelante); soya,

maíz, arroz, betabel y canola resistentes a herbicidas; calabaza, papaya y papas resistentes a virus (OPS, 2003; Harlander, 2002; Rowland, 2002).

OGMS COMO TECNOCIENCIA CONTROVERSIAL

La producción de organismos genéticamente modificados (OGMs) se basa en una tecnociencia que ha sido polémica desde su surgimiento en el ámbito social, político, económico, ambiental, etcétera. Esta controversia gira alrededor de varios aspectos, que van desde la creación de los OGMs y las características que el proceso mediante el cual se generan les confiere, el proceso de cultivo y los riesgos que éste conlleva, hasta preocupaciones de índole ética que son especialmente difíciles de resolver, y otras de justicia social que resultan muy preocupantes. Los cultivos GMs son el tipo particular de OGMs que se ha incorporado con frecuencia (no exentos de conflictos) en la agenda de la política tecnocientífica e industrial de muchos países, incluyendo el nuestro, pero de maneras muy diferentes según las regulaciones de cada una.

Todo gira alrededor del tema de los riesgos que esta tecnología presenta. Algunos de los riesgos asociados con este tipo de organismos podrían ser irreversibles y de una magnitud tal que hasta el día de hoy parecen no ser superados por los aparentes beneficios que este tipo de organismos podría ofrecer. Digo aparentes, porque los OGMs de primera generación (que son los que se encuentran actualmente en el mercado) aún no presentan beneficios para el consumidor, sino únicamente para los productores y distribuidores de las semillas, y en ocasiones para aquéllos que las cultivan. Sin embargo, los beneficios prometidos a largo plazo (por ejemplo, mayor valor nutricional, la posibilidad de incorporar vacunas y suplementos vitamínicos agregados), aún son solamente eso, una promesa. El problema es que aunque los beneficios todavía no son para todos, los daños posibles sí lo son; sin embargo, puesto que los riesgos potenciales se espera que sucedan principalmente a largo plazo, y su existencia es difícil de probar actualmente, los proponentes y defensores de los OGMs los descartan a favor de sus beneficios. Es decir, la incertidumbre relacionada con los riesgos de los OGMs parece funcionar como un argumento para descartar la posibilidad de su ocurrencia.

La palabra incertidumbre quiere decir, utilizada en este contexto, que no hemos identificado, y tal vez no podamos identificar, todas las consecuencias posibles de nuestras acciones. Esta incertidumbre se extiende más allá de los problemas técnicos o metodológicos de la investigación científica (como lo serían el tener datos insuficientes o utilizar modelos inadecuados) y nos obliga a reconocer que ciertas situaciones que involucran sistemas complejos no pueden ser predichas con certeza mediante métodos experimentales (Barrett, 2000). Sin embargo, la magnitud de los riesgos respecto a los cuales existe incertidumbre nos exige que se actúe a pesar de no tener una certidumbre científica total (si es que esto siquiera puede lograrse), y a favor de los intereses de todos los grupos involucrados.

Debido a que se pretende que este tipo de organismos sea utilizado a escala mundial para la alimentación humana y animal (implicando, desde luego, su cultivo y liberación a escalas globales), las cuestiones de su seguridad son el tema más preocupante. A pesar de que muchos de los riesgos que plantean los críticos de los OGMs han sido exagerados, hay evidencias que indican que el cultivo amplio y sin confinamiento de OGMs podría resultar en efectos ambientales y de salud nunca antes vistos y potencialmente serios. Por otro lado, otros estudios han examinado las afirmaciones de que los cultivos GMs aumentarán los rendimientos y reducirán el uso de productos químicos, que son algunos de los beneficios que sus productores prometen. A pesar de las crecientes evidencias, hay poco conocimiento acerca del impacto de los cultivos GMs (comparada con la velocidad de su desarrollo y comercio) y ésto puede deberse en parte a los fuertes vínculos entre sistemas políticos, biológicos, ecológicos y sociales. Por ejemplo, en ocasiones los compromisos políticos afectan las prioridades en investigación y por ende determinan los tipos de tecnologías que se financian, y el grado al que se investigan los riesgos (Barrett, 2000; Barrett y Flora, 2000; HGPI, 2003). Sin embargo, eso lo analizaré en capítulos posteriores.

Los riesgos sobre los cuales existe más incertidumbre radican en que los OGMs pueden tener un impacto en el ambiente, como en el caso de que haya una transferencia no intencional de transgenes mediante polinización cruzada o dispersión, o que provoquen efectos desconocidos sobre otros organismos (como los microorganismos del suelo), además de ser posibles responsables de una eventual pérdida de biodiversidad de flora y fauna. Esto último ocurre, por ejemplo, por la tendencia a la uniformidad, tanto genética como a nivel de cultivos que pueden conllevar los OGMs, y los problemas que la uniformidad genera (como la vulnerabilidad de los monocultivos a plagas novedosas, y la pérdida de variabilidad genética)

(Taşkin, 2006). Un riesgo obvio asociado con cualquier cultivo que haya sido mejorado para que sea resistente a los insectos es la posibilidad de que estos desarrollen con el tiempo resistencia a las toxinas producidas por el cultivo. También se ha expresado preocupación por la resistencia a los herbicidas. El principal riesgo en este caso consiste en que los genes de resistencia a los herbicidas pudieran pasar de los cultivos transgénicos a otras especies silvestres o cultivadas y producir "supermalezas" que resistan los métodos tradicionales de control. Para combatir esas supermalezas, los agricultores tendrían que utilizar herbicidas más fuertes y quizá más nocivos para el medio ambiente. La preocupación se justifica, ya que estudios como el de Quist y Chapela (2001) han demostrado que las plantas de cultivos GMs pueden cruzarse con plantas que crecen en campos vecinos y así transferirles dichos genes³ (Feldmann, 2000, HGPI, 2003; Quist, 2001). Estos efectos pueden influir en el balance de las especies vegetales en comunidades naturales, o influenciar la biodiversidad de la vida silvestre como resultado de cambios en los alimentos disponibles o en las fuentes de alimento utilizables, debido a que son factores que generan presión externa que tenderá a acumularse y a desatar efectos a mayor escala (Atkinson, 1998; Taşkin, 2006). Hay otros estudios que también corroboran el hecho de que en estudios de campo se ha registrado contaminación GMs mediante polinización cruzada o dispersión de polen, como el realizado por Caprio y Suckling (2000), que utilizan un modelo con poblaciones de manzanas de Nueva Zelanda y tréboles⁴. Un ejemplo más es el del estudio realizado por Meagher, Belanger y Day (2003), quienes desarrollaron un modelo de flujo génico que incorpora distancias exponenciales y efectos direccionales aplicados a especies que se polinizan por medio del viento⁵. Otro motivo de preocupación es que puede haber efectos inesperados en la dinámica de poblaciones del ambiente receptor como resultado del impacto en otras especies no involucradas. También puede haber efectos inesperados en los ciclos biogeoquímicos, especialmente por el impacto sobre las poblaciones microbianas del suelo que regulan el flujo de nitrógeno, fósforo y otros elementos (FAO, 2001). Existen también otros

3 Estos científicos reportaron en la revista *Nature* la presencia de DNA transgénico en variedades nativas de maíz cultivadas en zonas montañosas de Oaxaca, México. El gen en cuestión, al compararse con aquellos presentes en el GenBank, resultaba similar a secuencias contenidas en maíz transgénico comercial, como el Novartis Bt11. Estos resultados demuestran que hay flujo génico del maíz producido industrialmente hacia las poblaciones nativas y silvestres.

4 Con este modelo exploran el impacto en la tasa de desarrollo de resistencia de niveles variables de resistencia cruzada entre distintas toxinas expresadas en estos dos cultivos transformados con Bt.

5 Los autores aplican el modelo a *Agrostis stolonifera* en sus variedades modificadas para resistencia al herbicida glufosinato, y sus resultados muestran que la probabilidad de que haya hibridación entre las variedades modificadas y las especies silvestres es alta, dependiendo de las condiciones locales como la exposición al viento.

temas de preocupación, como son: que los cultivos GMs posean una mayor invasividad o persistencia que los tradicionales, que haya efectos no anticipados en especies benéficas (como las catarinas, las mariposas o ciertos microorganismos del suelo) y que se generen nuevos patógenos, por ejemplo, si los cultivos que han sido modificados con genes virales son infectados por un virus diferente, podría producirse una nueva variedad de virus al mezclarse la información genética de ambos virus (Barrett y Flora, 2000). Un ejemplo del efecto no anticipado sobre especies benéficas lo reportan Hellmich *et al.* (2001), al evaluar la sensibilidad de las larvas de la mariposa monarca (*Danaus plexippus*) a proteínas purificadas y polen de *Bacillus thuringensis*, o Bt⁶, aún cuando esta sensibilidad ocurre con dosis mayores a las que se obtendrían del polen de una planta productora de la proteína Cry.

CAPÍTULO 2

6 Estos autores analizaron el efecto de las toxinas Bt de las variedades Cry1Ab, Cry1Ac, Cry9C y Cry1F incorporadas a la dieta de larvas de la mariposa monarca, y a pesar de que se registraron pocos efectos negativos provenientes de las toxinas Cry9C y Cry1F, las larvas presentaban sensibilidad a las variedades Cry1Ab y Cry1Ac, mostrando alteraciones en sus niveles de peso y una tasa de supervivencia disminuida.

LAS CONTROVERSIAS TECNOCIENTÍFICAS

En los últimos años se ha modificado la forma en la que se produce el conocimiento científico, en función de nuevas capacidades y fines tecnológicos y de intereses económicos e industriales que permean dicha producción. Por ello, ha surgido en la filosofía el concepto de “tecnociencia” para referirnos no sólo a la actividad misma de búsqueda de conocimiento sino a los productos de esta actividad, mediante los cuales se realizan intervenciones en el mundo.

Como se mencionó en la introducción y como el mismo término lo sugiere, la tecnociencia es la asociación entre ciencia y tecnología, entre conocer y producir, entre teorización y construcción tecnológica. El resultado tiene un propósito particular: quienes diseñan y operan sistemas tecnocientíficos, mediante sus resultados, los productos tecnocientíficos, buscan resolver problemas particulares, se trata por tanto de objetos producidos a partir del matrimonio indivisible de ciencia y tecnología con un fin distinto al mero conocer. Feenberg (2009) afirma que el interés principal de la actividad científica es conocer la naturaleza; este interés es compartido por la tecnología, pero con criterios sociales y económicos especialmente relevantes que provienen de corporaciones privadas o agencias gubernamentales, en las que trabajan personas que pueden tener o no algo que ver con ciencia, pero cuyos fines prácticos generalmente no tienen mucho que ver con conocer la naturaleza. Los resultados de las acciones de dichos individuos dan lugar a productos técnicos o artefactos que pueden introducirse al mercado. Si acaso se obtiene nuevo conocimiento científico en el proceso, esto es algo secundario, pues la finalidad central de la tecnociencia es tecnológica e industrial. Sin embargo, cuando se entrecruzan las búsquedas de verdad y utilidad, dice Feenberg, y se alinean los criterios científicos y tecnológicos, es cuando resulta pertinente usar el término “tecnociencia”. Linares (2009) habla de que la tecnociencia es pragmática; una “unidad de acción entre ciencia y tecnología en proyectos de investigación e innovación tecnológica con finalidades industriales y comerciales... La tecnociencia es, por tanto, una empresa colectiva para intervenir y transformar el mundo, y no un mero conjunto de teorías.”

Es precisamente este potencial transformador el que convierte a la tecnociencia en algo que resulta en varias ocasiones controversial, y como Aarden (2009) y Aibar (2002) afirman, de

interés político. Político y público: más de un sector de la sociedad, debido a la cantidad de actores que participan en los procesos tecnocientíficos, se encuentra involucrado en algún desarrollo tecnocientífico. Esta participación traslada las controversias tecnocientíficas a la arena pública, y los distintos actores suelen involucrarse en ellas en mayor o menor grado. Sin embargo, da Silva (2006) sostiene que al encontrarse atravesada por determinismos diversos (como el genético, del que hablaremos más adelante) excluye a las multitudes de ciudadanos desinformados de sus debates y controversias, aun cuando por el alcance de la tecnociencia tendrían que participar también de ellos.

Da Silva (2006) señala también que los discursos, prácticas y conocimientos tecnocientíficos interactúan con las fuerzas presentes en la sociedad y se empalman perfectamente con las del mercado. Esta interacción es particularmente interesante; debido a que está enfocada a la creación de artefactos y procesos que transforman la realidad que nos rodea, la tecnociencia es de interés comercial, especialmente para empresas privadas que la desarrollan y obtienen de ella importantes ganancias. Linares (2009) comparte esta postura; mantiene que “el conocimiento científico se subordina así a la tecnociencia para producir artefactos, bienes y sistemas que puedan introducirse al mercado, y que esta finalidad pragmática se asocia indisolublemente con los intereses industriales y comerciales del capitalismo mundial”.

Mencionamos arriba que la tecnociencia es frecuentemente controversial. Esto es algo que comparte con la ciencia a secas; sin embargo, así como hay particularidades en sus procesos que distinguen ciencia y tecnociencia, también hay particularidades que diferencian el tipo de controversias en que se involucran. Feenberg (2009) las describe en la forma en que se resuelven; las científicas, señala, se cierran gracias al trabajo de un grupo de investigadores que debaten los temas controversiales. En las tecnocientíficas es posible encontrar a científicos en los diversos bandos de la confrontación y no sólo en uno. Aquí los conflictos no se producen, en la mayoría de los casos, a partir de interpretaciones divergentes de los datos o informaciones suministradas por los científicos. La resolución de las controversias científicas depende mayoritariamente de la la misma actividad científica y de sus ejecutores, ya que los factores sociales, económicos y culturales prácticamente no participan, al menos de manera directa. En cambio, en las controversias tecnocientíficas hay un mayor número de agentes y ámbitos sociales implicados (economía, derecho, política, relaciones internacionales, ética, etc.) y su

dinámica y resolución es más compleja, en ocasiones imposible, incluso (Aibar, 2002; Feenberg, 2009).

A diferencia de las controversias científicas, que se resuelven muchas veces con base en evidencias, datos y refutaciones prácticas, las tecnocientíficas no responden a una solución lineal. Las controversias científicas generalmente se resuelven en un tiempo finito, sea por factores racionales o de otro tipo, mientras que las tecnocientíficas tienden a permanecer abiertas; podríamos pensar que ésto se debe a la incertidumbre que rodea a algunas tecnociencias y gracias a la cual las controversias se mantienen sin conclusión. Linares (2009) reconoce que "...no todas las controversias tecnocientíficas tienen solución, ya que las distintas valoraciones sociales del riesgo pueden ser irreductibles entre sí. Por eso, las controversias pueden permanecer abiertas, aunque se hayan aplicado ya las innovaciones en cuestión. Pero ésto es deseable sólo a condición de que se alcance un consenso básico que permita monitorear y regular las innovaciones que son objeto de la controversia, para reactivar el debate en cuanto surjan nuevas evidencias científicas sobre el problema. En ocasiones, la complejidad de los riesgos inherentes a las acciones tecnológicas puede dar lugar a una *controversia abierta* y, en otros casos, a una *controversia permanente*, que favorece y estimula el debate argumentado desde diversas perspectivas sociales y culturales hasta alcanzar un punto de acuerdo."

En parte, las controversias tecnocientíficas suelen mantenerse abiertas porque, como Feenberg (2009) sugiere, no giran alrededor de ideas, sino de daños potenciales. Se basan en conceptos de riesgo y de incertidumbre sobre este riesgo; si la tecnociencia en particular tiene riesgos tangibles, identificables, cuantificables y controlables entonces la controversia será más fácil de cerrar. Si se trata de un desarrollo tecnocientífico rodeado de incertidumbre sobre los riesgos potenciales, que no pueden descartarse por la escala a la que ocurren (sea temporal o de alcance), entonces la controversia se mantiene: la incertidumbre es un elemento que favorece que las controversias permanezcan abiertas. Mientras ninguno de los lados pueda probar categóricamente que los riesgos van o no a manifestarse, parecería no haber razón para no seguir adelante con la aplicación de dicho desarrollo. Salvo que, desde luego, se tome en cuenta lo que Linares (2009) describe de la siguiente forma: "Estas controversias sociales se han generado a partir de discrepancias en las valoraciones sobre los riesgos tecnocientíficos. En años anteriores se subestimaban los riesgos y sólo la comprobación de daños a la salud o al medio ambiente era un motivo justificado para retirar o modificar una tecnología. Por el

contrario, se perfila en nuestros días un nuevo *contrato* entre la sociedad y la tecnociencia que busca reducir los riesgos mediante la deliberación y el control público, así como distribuir de un modo más justo los beneficios de las interacciones entre la tecnociencia y la naturaleza. Este nuevo contrato social con la tecnociencia busca fortalecer la co-responsabilidad mundial y aplicar medidas precautorias para reducir la posibilidad de accidentes tecnológicos de catastróficas consecuencias." La precaución nos pediría actuar preventivamente frente a la incertidumbre. En el caso de la controversia sobre los transgénicos, aun cuando las legislaciones son precautorias, este tipo de organismos se encuentra firmemente establecido en cadenas de producción y comercialización de cultivos.

Linares (2009) habla de algunos casos en los que se ha logrado "cierto consenso sobre lo que habría que evitar por el momento, mediante restricciones y moratorias, por ejemplo, sobre la clonación humana reproductiva." Sin embargo, en nuestra controversia particular, como veremos a lo largo de este trabajo, debido a la cantidad de información a favor y en contra aportada por cada uno de los actores, que defenderán su postura encarnizadamente debido a las ganancias o perjuicios que su permanencia les signifique y debido a la incertidumbre inherente de esta tecnociencia, no se aceptará como definitiva ninguna evidencia de forma que permitiese cerrar categóricamente la discusión, favoreciendo a uno de los bandos. Si acaso se lograra resolver tendría que hacerse, precisamente, por consenso. Linares (2009) plantea que la viabilidad de alcanzar acuerdos y consensos mínimos (pero que no eliminan algunos disensos insuperables) entre los diversos agentes sociales que participan en el desarrollo de la tecnociencia dependerá de que las controversias se enfrenten de una manera adecuada. Sin embargo, aquí no se desea llegar a un consenso porque éste perjudicaría inevitablemente a uno o más de los actores involucrados.

La controversia tecnocientífica también ha afectado la forma en que se realiza la misma ciencia. Aibar (2002) menciona que en este tipo de controversias "el conocimiento experto es utilizado como recurso propio por los diferentes actores sociales implicados: grupos de afectados, asociaciones de consumidores, sindicatos, grupos ecologistas, etc., además de los organismos gubernamentales o las empresas; todos recurren a expertos científicos, propios o contratados, para apoyar sus posiciones. Los expertos han dejado de ser simples asesores o consultores "neutrales" para convertirse en *participantes activos* en las controversias [...] La estrategia analítica de averiguar cuál de las posiciones que se enfrentan en una controversia tiene el apoyo de la evidencia científica disponible resulta claramente inoperante. La situación

que a menudo encontramos es bastante más compleja y nos presenta un panorama de disensión dentro de la misma comunidad científica involucrada. Son algunos de los científicos involucrados los que ven riesgos donde otros sólo perciben consecuencias seguras —y, en algunos casos, ante la misma evidencia empírica.” Esto, aunado a cuestionamientos no sin fundamento sobre los intereses que podría tener un científico o grupo de éstos hacia un lado particular de la controversia hace que la ciencia, que era vista como una herramienta para todos, sufra una disminución de sus valores: objetividad, imparcialidad, búsqueda de evidencias y contrastación de datos empíricos. Esto desacredita a la misma ciencia y tiene un efecto mediático poderoso: los científicos pierden credibilidad en este marco. Un efecto positivo es que la idea de la ciencia monolítica que todo lo puede ha perdido fuerza, pero el efecto negativo es que el público pueda perder confianza en el conocimiento científico.

En los capítulos siguientes, analizaré tres aspectos particulares de la controversia alrededor de los OGMs, que seleccioné por considerarlos fundamentales y porque bien podrían ser consideradas controversias independientes, pero que al momento de converger aportan una estructura problemática de mayor profundidad en este tema.

El primero parte de que este tipo de organismos han sido creados con base en una concepción tecnológica basada en el entendimiento y práctica de la biología, un paradigma que podemos llamar “reduccionista”, debido a que precisamente reduce los organismos vivos a sus componentes materiales primordiales, es decir, a los genes, y que se enfrenta con otro paradigma de la ciencia biológica que posee un enfoque sistémico y de interacciones. El segundo se refiere al problema ético de la propiedad intelectual aplicada, mediante el sistema de patentes, a las formas vivas modificadas a partir de técnicas biotecnológicas: ¿se debe o no patentar este tipo de organismos? Aquí se entrecruzan temas de economía, ética y, finalmente, justicia social. El tercero tiene que ver con el rumbo que ha tomado el desarrollo económico en el mundo, especialmente en los países en desarrollo, y cómo el modelo desigual y riesgoso de producción y obtención de ganancias asociado con la biotecnología agrícola trata de impulsar que se expanda este modelo de desarrollo económico y social en todos los países.

CAPÍTULO 3

CONTROVERSIA SOBRE LOS PARADIGMAS CIENTÍFICOS EN TORNO A LA FORMA EN QUE LOS GENOMAS SE EXPRESAN EN LOS FENOTIPOS

En el capítulo anterior adelanté que analizaría no uno sino tres ámbitos de la controversia sobre los OGMs, o bien, tres controversias diferentes que giran alrededor del tema. La primera, que desarrollaré aquí, podría denominarse “científica”, ya que parte del choque entre dos visiones encontradas de la biología que han luchado por ser predominantes desde hace décadas y cuyos enfoques, tan distintos entre sí, conllevan la posibilidad de ver a los OGMs como algo positivo o negativo.

Uno de estos paradigmas presenta una visión reduccionista de la biología, en particular, de la biología molecular y la genética, que reduce, precisamente, todos los organismos del mundo vivo a sus componentes genéticos. Podría ser también identificada con un paradigma determinista, en el que se sostiene, a grandes rasgos, que todo lo que ocurre a nivel orgánico está determinado únicamente por los genes (unidades materiales susceptibles de manipulación técnica). El otro, en cambio, ofrece una visión holística y sistémica, que no se basa en tratar de reducir, sino en reconocer a los organismos vivos como producto de una serie de interacciones complejas, y hasta cierto punto indeterminables, entre dichos componentes genéticos, el ambiente y otros seres vivos, tanto en sus interacciones sincrónicas como en sus relaciones diacrónicas o evolutivas. A continuación, describiré brevemente dichas posturas, para posteriormente analizarlas aplicadas a los OGMs.

DETERMINISMO-REDUCCIONISMO-GENOCENTRISMO

Sobre el reduccionismo, Hull (1974) distingue tres sentidos de “reducción”: la epistemológica, la física y la teórica. En la reducción física, que es la única que nos resulta relevante en este trabajo, los sistemas en un nivel particular son analizados por las partes que los componen y el comportamiento de los sistemas de niveles superiores se explica en términos

de las propiedades, comportamientos y arreglos de sus partes (Hull, 1974). La reducción que resulta pertinente para nuestra discusión, por supuesto, consiste en las funciones y desarrollo de los organismos vivos en términos de sus componentes genéticos. Sin embargo, cabe señalar que esta reducción ontológica que concibe a los organismos vivos como arreglo de partes de forma más bien mecánica y en líneas de causalidad lineal (se sigue creyendo que los genes determinan, por su mera posición, una a una las características fenotípicas de los organismos) influye en una teorización y en un paradigma epistemológico que establece una equivalencia entre sistemas orgánicos y sistemas técnicos hechos de partes inertes.

Pinzón (2002) describe la postura reduccionista como un acercamiento explicativo, en el que con el fin de comprender mejor el mundo que nos rodea, hemos llegado a “separar los componentes de este inmenso sistema con el fin de simplificar su estudio y facilitar su interpretación”. Sobre la utilidad de dicho acercamiento analítico, este autor afirma que “ha demostrado ser válida para encontrar ciertos tipos de relaciones, sin embargo cuando nuestro interés se centra en el estudio de la función de un sistema en su conjunto, este tipo de acercamiento empieza a evidenciar sus fallas, pues así como no podemos describir el comportamiento general de un organismo basados tan sólo en sus características celulares, no podemos describir la dinámica de un ecosistema [...] basados en alguna de las especies que lo componen”.

Las discusiones sobre el determinismo genético no son nuevas; han estado presentes en las ciencias (tanto naturales como sociales) desde hace muchos años y por más que se hacen intentos por dejarlas atrás, tienden a regresar de una u otra forma, aún cuando la mayoría de los biólogos contemporáneos han descartado este enfoque. Podemos definir, de manera laxa, al determinismo genético como la creencia de que el desarrollo de un organismo está determinado solamente por sus genes; son los genes por sí solos los que determinan los rasgos y comportamientos de un ser vivo. Puesto en otras palabras, hablar de determinismo genético es mantener la idea de que los genotipos determinan los fenotipos; es la noción de que el componente genético de un individuo es igual a su comportamiento. (Resnik, 2006; De Melo-Martín, 2005; Schipper and Shackelford, 2008). Resnik (2006) sostiene que esta definición es intuitivamente correcta, pues la gran mayoría de los rasgos tienen algún tipo de base genética. Sin embargo, en la práctica, los genes comúnmente sólo aumentan la probabilidad de que un organismo desarrolle un rasgo, aun cuando este rasgo pueda no desarrollarse nunca.

El determinismo genético fuerte, que sostiene que un gen casi siempre llevará al desarrollo de un rasgo (es decir, que aumentará la probabilidad de su ocurrencia en al menos 95%), es el centro de las discusiones sobre el tema y es poco común, debido a que:

1- El ambiente juega un papel fundamental en la expresión de los genes.

2- Las interacciones entre genes también son importantes. La mayoría de los rasgos son epistáticos: no están determinados por un único gen sino por distintos. Por ésto, en muchos casos, un gen individual puede tener sólo una pequeña influencia en el desarrollo de un rasgo.

3- El desarrollo, así como el ambiente, tiene un efecto significativo en la expresión génica. Ya que los patrones y procesos de desarrollo influyen en la expresión génica, dos individuos con genomas idénticos y ambientes sustancialmente similares podrían expresar fenotipos diferentes. (Resnik, 2006)

No todos los biólogos trabajan desde el mismo paradigma. Algunos biólogos moleculares y los biotecnólogos, en su gran mayoría, trabajan desde un paradigma que podemos llamar reduccionista y determinista (pues proviene de los esquematismos conceptuales de la química y la bioquímica, que son útiles para analizar las composiciones materiales, pero no para sistemas vivos), ya que combina ambas visiones. Lo hacen con un pensamiento guía: que los genes tienen, por ponerlo de una forma simple, todas las "instrucciones" necesarias para el desarrollo de un organismo, escritas a manera de receta y que funcionan como un programa de computadora: se alimenta un programa a la computadora, y dicha alimentación nos proporciona el resultado esperado de manera predecible. Puesto de una manera más simple aún, se podría trazar también una analogía con una máquina de escribir, donde se teclean ciertas teclas y el mecanismo hace que aparezcan las letras correspondientes sobre el papel. Aun cuando los biólogos piensan en los genes como partes clave de la maquinaria molecular que ensambla productos proteicos, también piensan en ellos como instrucciones o programas para la producción de rasgos fenotípicos particulares. En algunas publicaciones no especializadas en ciencia, es esta segunda representación la que predomina, llevando a afirmaciones como la siguiente, que Griffiths (2006) localiza en una edición de *The Economist* de 1999: "La fisiología y el comportamiento de un organismo están dictadas principalmente por sus genes. Y esos genes son simplemente repositorios de información escritos en una forma sorprendentemente similar a la que usan los científicos computacionales para guardar y transmitir otro tipo de información

[...] (la biología) es esencialmente una tecnología de información". (Griffiths, 2006). Se ha visualizado el desarrollo y a la base genética molecular de modo parecido: los genes tienen la receta, a manera de inscripciones en programas computacionales, de todo lo que implica el organismo: enfermedades, comportamiento, expresión celular, etcétera, cuando en realidad todos estos aspectos están por encima de la información lineal de las bases nitrogenadas del ADN: dependen de una serie de otros factores adicionales, y pensarlos de otra forma implica una visión muy simplista de la influencia de los genes en las funciones orgánicas. El gen es el elemento clave y suficiente: por ello, podríamos categorizar esta postura con el término "genocentrista".

En gran medida, el pensar de forma determinista y reduccionista tiene una relación histórica con el momento en que comenzó a pensarse en el concepto de "herencia" y de relacionar dicho término con el componente genético, que es lo que se transmite de generación en generación, el material hereditario, el material de la herencia. Sin embargo, Bhardwaj (2006) señala que los historiadores de la biología han mostrado que el término "herencia" originalmente se refería a la transmisión de potencialidades durante la reproducción y al desarrollo de estas potencialidades, dando lugar a rasgos determinados. Con el desarrollo de metodologías estadísticas para analizar la transmisión de los rasgos hereditarios, así como con la comprensión creciente de la labor de los genes en la transmisión generacional de factores hereditarios, la atribución de los poderes causales a los genes tuvo una respuesta positiva por parte de la comunidad científica. Sin embargo, según el autor, la creencia resultante de que es esencial para propósitos de investigación y cuidado de la salud el comprender cómo los genes influyen nuestro destino biológico nos ha llevado a la noción de esencialismo biológico. Esto se basa en la creencia de que la comprensión puede obtenerse al reducir a un objeto del conocimiento a su "esencia". En las ciencias biológicas, tal idea puede relacionarse con el acercamiento reduccionista y determinista de explicar todo en términos de la genética (Bhardwaj, 2006).

Griffiths (2006) localiza el origen de la forma determinista-reduccionista de pensar en los genes en la genética mendeliana o de herencia. El autor afirma que "en ausencia de una comprensión molecular del gen se construyó un marco teórico y experimental en el que los genes eran identificados por los caracteres fenotípicos con los que se correlacionaban en experimentos de crianza. La biología del desarrollo - la investigación de cómo los caracteres observados en los padres son reconstruidos en los hijos- se dejó de lado a favor de una

estrategia de caja negra en la que los genes, identificados de la forma descrita, eran tratados como si la transmisión de un fragmento de cromosoma explicara por sí misma la “transmisión” de un carácter fenotípico. Utilizando metáforas de las nuevas ciencias de transmisión de información, cibernética y computación, los biólogos comenzaron a describir a los genes como teniendo los “planos, programas e instrucciones” relacionados con los rasgos con los que se correlacionan en experimentos de crianza.” (Griffiths, 2006)

Aun cuando esta visión genocentrista es simplista e incompleta, como mencionamos arriba citando el trabajo de Pinzón (2002), no podemos negar que ha sido útil, en un sentido puramente instrumental, para discernir algunos componentes que tienen un impacto bastante obvio. La mayor parte del conocimiento que ha permitido entender los mecanismos de herencia y la relación de un gen y su función se adquirió con base en el efecto que una o más mutaciones en un gen tenía sobre el fenotipo de un organismo dado. Ahora sabemos que la regulación de su expresión es compleja y que existen algunos eventos que no se pueden explicar solamente con la función de un sólo gen sino que están embebidos en redes complejas. Sin duda el reduccionismo genético ayudó a entender las bases de la herencia, de no haberse acotado de alguna forma, difícilmente podríamos haber logrado entender las relaciones complejas en las que se integran. Lo relevante es no quedarse en ese nivel y aceptar que las bases biológicas de la vida son más complejas que la suma de la acción de varios genes. De no hacerlo, la manera genocentrista de pensar nos lleva a creer que si logramos identificar todos los genes podremos predecir todos los aspectos del desarrollo y del comportamiento de un organismo adulto, no importa cuán complejo sea éste (Hull, 1974).

Los hechos que la biología molecular del desarrollo ha descrito y estudiado no corresponden a la idea popular de que el código genético es un lenguaje en que el genoma contiene instrucciones sobre los fenotipos. Griffiths (2006) afirma que “la posición de los biólogos del desarrollo es que las diferencias empíricas entre el papel del ADN y el de los gradientes citoplásmicos y de otros eventos de impronta del hospedero no justifican las distinciones metafísicas que se han construido alrededor de ellos. Los hechos del desarrollo no justifican asignarle al ADN el papel de información y control mientras que otros componentes como los moldes heredados de las membranas sólo reciben el título de “soporte material” para la lectura del ADN” (Griffiths, 2006).

Por su parte, de Melo-Martín (2005) opina que

“promover el determinismo genético es problemático porque no hay fundamentos empíricos que respalden la creencia de que los genes por sí solos determinen los comportamientos y rasgos humanos. Esto no quiere decir, por supuesto, que los genes no jueguen un papel, ni tampoco que pueda descartarse que en algunas ocasiones los genes pueden brindarnos la mejor explicación para la presencia de un rasgo. Rechazar el determinismo genético es simplemente rechazar la idea de que los genes son los únicos responsables.” (De Melo-Martín, 2005)

Sobre el reduccionismo genético, Kauffman (1998) presenta dos hipótesis que considero pertinente resaltar: la primera, que un organismo puede ser visto como algo que hace una cantidad indefinida de cosas y puede ser descompuesto de muchísimas maneras en sus partes y procesos. La segunda, que para obtener o desarrollar diferentes descripciones de lo que hace el organismo, podemos descomponerlo en sus partes de diferentes maneras. Por tanto, pueden hacerse diferentes descomposiciones tentativas del sistema, mediante el uso de los diversos conjuntos de condiciones suficientes para una descripción adecuada. Entendiendo ésto, que un organismo puede descomponerse de acuerdo a nuestros fines y necesidades, no puede pretenderse que haya una única descomposición válida para encontrar un punto básico a partir del cual puede generarse una explicación única y universalmente válida. Sobre cómo utilizamos la información acerca de las partes para sintetizar nuevas perspectivas de lo que hace el conjunto, Kauffman establece que mientras formemos puntos de vista nuevos e inclusivos acerca de lo que hace un organismo y que éstos se añadan a varios puntos de vista anteriores en maneras nuevas y provechosas, parece no haber ninguna razón para insistir en que todos los puntos de vista posibles de lo que hace un organismo y toda explicación de articulación de partes posiblemente verdadera tengan siquiera que supeditarse a algún punto de vista que lo abarque todo, un punto de vista último de lo que “realmente” hace el organismo (Kauffman, 1998). Lo anterior puede considerarse válido para propósitos de explicación, pero no para la toma de decisiones que puedan tener consecuencias prácticas de gran magnitud. Es decir, acercarse a un problema desde únicamente una de sus partes no es suficiente para que este acercamiento funcione como base para nuestra toma de decisiones al momento de planear y ejecutar intervenciones técnicas sobre la realidad.

ORGANICISMO-EPIGÉNESIS

Fedoroff y Cohen (1999) hacen una crítica al pensamiento científico descrito arriba en función de la incapacidad de quienes lo mantienen de pensar en los seres vivos como sistemas complejos íntimamente relacionados con todo lo que los rodea, viéndolos en cambio de manera simple, lineal: “Los modelos científicos están apenas comenzando a lidiar con la idea de que los sistemas complejos, ya sean geológicos, biológicos o humanos, generalmente presentan respuestas no lineales. Estas incluyen cambios abruptos en la circulación oceánica y el clima, mutaciones que aumentan la virulencia de los patógenos, extinción de especies, y cambios rápidos en la fertilidad, mortandad y migración humana”. Sobre la naturaleza compleja de los sistemas, aplicada al caso particular de la genética, Hackett (2002) afirma que es hasta décadas recientes en que los genetistas han notado que la mayoría de los fenotipos otorgados por los genes están epigenéticamente regulados por genes modificadores y vías que interactúan. Esta comprensión ha dado lugar, junto con los recientes avances en los estudios de biología del desarrollo, a otra visión, muy diferente a la anterior, que podemos llamar, por su enfoque en el organismo completo y no sólo en sus partes, “organicista”.

La diferencia entre los biólogos que se consideran genocentristas y los que se consideran organicistas radica en la siguiente distinción. Los genocentristas creen que una especificación de las estructuras y mecanismos moleculares es adecuada por sí misma para explicar todos los fenómenos hereditarios. Los organicistas, por otro lado, hacen énfasis en que es necesaria una referencia a todo el conjunto molecular, incluyendo el ambiente (Hull, 1974). Estas posturas conforman una controversia o polémica real, científica, donde el paradigma genocentrista que sostiene que toda la información necesaria para conocer a los seres vivos en su conformación estructural, comportamiento y funcionamiento está contenida en los genes se opone a una visión holista, organicista, de sistemas complejos, en la que se postula que las interacciones son importantes y que los resultados que emergen a diferentes niveles de organización, las consecuencias que surgen a estos distintos niveles, a causa de estas interacciones, son cualitativamente distintas a la suma de los comportamientos de las partes que interactuaron.

Los científicos organicistas son parte de un grupo que ha hablado por años de cómo no existe nada que podamos denominar como “programa para la vida” en el sentido de un guión hereditario, pre-escrito, esperando ser leído. Lo que este grupo afirma, según Strohmman (2001), es que “dentro de cada célula hay redes regulatorias de proteínas que detectan o miden cambios en el ambiente celular e interpretan dichas señales para que la célula pueda producir

una respuesta adecuada. Los genes especifican la información necesaria para hacer proteínas, y el genoma como totalidad provee una fuente colectiva informacional. Sin embargo, un genoma por sí sólo es pasivo: el ADN, por ejemplo, no puede fabricarse por sí mismo, ni a una proteína. Aun cuando el ADN ha sido llamado por muchos “el libro de la vida” varios científicos lo consideran más bien como una colección de palabras a partir de las cuales puede escribirse una historia de vida. Para armar dicha historia, una célula utiliza un segundo sistema informacional: los genes codifican para proteínas, muchas de las cuales son enzimas, que tienen reacciones bioquímicas y productos de dichas reacciones, incluso retroalimentan al ADN para regular la expresión génica. Esto forma una red dinámica-epigenética: dinámica porque regula los cambios en los productos a lo largo del tiempo, y epigenética porque está sobre la genética en los niveles de organización. Dichos sistemas tienen reglas propias de la red que no están especificadas por el ADN”... Gould descarta la visión reduccionista de entrada a favor de la visión holista: “el colapso de la doctrina de un gen-una proteína y una sola dirección de flujo causal desde los códigos básicos hasta la totalidad marca el fallo del reduccionismo genético para explicar el sistema complejo que llamamos biología celular” (Strohman, 2001)

Lo que la postura organicista afirma, entonces, es que no es posible, entendiendo el comportamiento aislado de las partes, sumarlo para entender con esta suma el efecto combinado, porque la interacción brinda efectos superiores a nivel de organización que no pueden comprenderse a partir de la suma del comportamiento de las partes. Hay auto-organización, hay emergencia, las interacciones son importantes y el contexto también es decisivo y retroalimenta modificándose y modificando a las redes regulatorias. Si se hace una modificación en un componente, ésta no queda aislada.

La controversia sobre los sistemas biológicos existe porque inclusive los científicos que trabajan con este paradigma encuentran funcional el paradigma reduccionista para condiciones pequeñas, para cosas que funcionan de manera lineal, como ciertos aspectos de los genes (de nuevo, esta postura tiene utilidad instrumental). Sin embargo, si estudiamos genes, digamos, en un laboratorio, en condiciones controladas, los resultados serán diferentes al momento de sacar al gen del contexto del laboratorio y tratar de entender su papel al integrarlo en redes complejas de interacción y estudiar su comportamiento como parte de estas redes. Aquí, los resultados reduccionistas pierden sentido y pueden resultar contradictorios o paradójicos. Hay genes que, dada su ubicación en las interacciones, tienen un papel preponderante y que en el

momento en que mutan tienen fuertes efectos que no dependen sólo de ellos, sino de que afectan muchos otros genes: es decir, de las interacciones y los patrones de encendido y apagado de genes que desencadenan. Este comportamiento es no lineal, es aditivo, y da como resultado la emergencia de patrones multigénicos que mueven a la célula y, a niveles más complejos, a organismos completos.

El paradigma sistémico está cobrando cada vez más importancia en la biología moderna; sin embargo, no es así en el área de la biotecnología, que se desarrolló y se sostiene a partir de una visión predominantemente reduccionista (bioquímica), y a la cual se debería de cuestionar mucho más desde el enfoque holista. Pinzón (2002) lo postula de la siguiente manera: “nuestro acercamiento al estudio de los ecosistemas debe hacerse con una mentalidad holística, es decir, entendiendo que las propiedades de un ecosistema no pueden ser encontradas estudiando sus componentes por separado, debido a su alta complejidad y a la presencia de propiedades emergentes, en contravía al concepto reduccionista que ha gobernado la metodología científica desde Newton [...] La necesidad de un acercamiento holístico a un sistema dado se incrementa con la complejidad, integración, número de interacciones, retroalimentaciones y mecanismos de regulación de éste.” Lo que Pinzón pide, precisamente, es que se parta de un enfoque holístico al estudiar los ecosistemas debido a la extraordinaria complejidad de éstos, tal que ni siquiera podemos determinarla (Pinzón, 2002).

Davies (2000) localiza el origen de la postura holista en el pensamiento de Aristóteles. Éste creía “que aún cuando cada individuo perecía, su “Forma” ideal era eterna y fija como especie [...] la Forma ideal es real y la variación individual es una ilusión”. La idea aristotélica de Forma fija y especie eterna encontró una fuerte contraparte en el pensamiento de Charles Darwin, quien reemplaza dicho concepto con el de especie como grupo de individuos en una población, donde ésta es sólo una abstracción estadística y sólo los individuos son reales, enfatizando el aspecto único de todo lo que existe en la naturaleza. Davies mantiene que la idea de Darwin es reduccionista e individualista, mientras que la de Aristóteles es holista. El debate entre ambas posturas llega hasta el siglo que le siguió al pensador victoriano, con la pregunta de si la vida podía ser reducida a la física y a la química. Esta pregunta se respondió, finalmente, de manera negativa, entendiendo que “aún cuando los sistemas compuestos por las moléculas que componen las células vivas están basados en mecanismos químicos [...] trascienden la química [...] Toda la vida puede ser vista como una jerarquía de sistemas que se

retroalimentan e interactúan, de las células a los individuos, y de las poblaciones a las comunidades y ecosistemas” (Davies, 2000).

Este no es el único debate que la problemática arrastra desde muy atrás en la historia; el contrastar explicaciones de determinismo genético con otras que admiten la importancia del ambiente es análoga al longevo debate que enfrenta, de forma incorrecta, a la naturaleza (genes, instinto, adaptaciones, biología) con la crianza (ambiente, experiencia, mecanismos de aprendizaje, cultura). El antropólogo Edward Hagen discute que la naturaleza es producto de la crianza y la crianza de la naturaleza. Para ilustrar lo anterior, uno debe examinar la evolución por selección natural. Hagen compara la selección natural con un algoritmo de aprendizaje que utiliza información del ambiente para seleccionar combinaciones de genes que ayudan a la reproducción. Estas combinaciones de genes se almacenan en el genoma mientras esta información aprendida forma la base de una adaptación. Ya que las adaptaciones son el producto de influencias ambientales y son seleccionadas a lo largo de la historia evolutiva, sería desinformado discutir genes o adaptaciones sin el conocimiento del contexto en que evolucionaron. Así, la naturaleza es producto de la cultura (Schipper and Shackelford, 2008).

No todos piensan como Hagen; Griffiths (2007) habla de filósofos como Maynard-Smith, quienes “conocen el papel de los factores no genéticos en el desarrollo y tienen una estrategia para quitarles valor, que consiste en cuestionar la estabilidad intergeneracional de los factores no genéticos y/o su potencial para producir el tipo de variación sobre la que la selección natural puede actuar. Así, mantienen que las diferencias debidas a la naturaleza pueden ser heredadas, mientras que las que son debido a la crianza no; los rasgos que adaptan a un organismo a su ambiente se deben, probablemente, a la naturaleza. También, que el estatus especial de los factores genéticos se explica por una razón únicamente: porque los factores genéticos se replican a sí mismos y los no-genéticos no. Por otro lado, la teoría de sistemas de desarrollo discute que debemos definir a la “herencia” como lo que es heredado si pasa de generación en generación, de tal modo que la evolución pueda actuar en sus formas variantes. Así, cada elemento de la matriz de desarrollo que se replica en la siguiente generación y que juega un papel en la producción de el ciclo de vida evolucionado del organismo fue heredado.” (Griffiths, 2007)

REDUCCIONISMO VS. ORGANICISMO Y LOS OGMS

El impacto de las nuevas tecnologías y su dependencia del conocimiento genético nos ha llevado a un punto donde gran parte de las agendas de investigación biológica y médica y sus resultados están basados en papeles adscritos a los genes. Esta actitud determinista también ha alcanzado a la agricultura moderna, especialmente a la relacionada con la genómica de plantas. La introducción de OGMS ha sido postulada como una respuesta a las condiciones ambientales que van en deterioro y al cambio climático. Se cree que el que las condiciones climáticas empeoradas para la agricultura puede ser en parte resultado de la Revolución Verde, basada en el uso intensivo de pesticidas e insecticidas sintéticos (FAO, 2003). En respuesta a este deterioro, en vez de abogar por tecnologías agronómicas que funcionen de forma distinta, menos industrializada y más amigable que las que se popularizaron durante la Revolución Verde, se ha apoyado el uso de OGMS, por los supuestos beneficios que brindarán. Sin embargo, según Bhardwaj (2006) los cultivos GMs son sólo ejemplos optimistas de la actitud de determinismo genético que impera en la disciplina biotecnológica: las esperanzas y promesas de encontrar soluciones a los problemas de hambre, enfermedad, condiciones hereditarias y problemas ambientales en los genes son predominantes en la investigación científico-tecnológica actual (Bhardwaj, 2006).

Schubert (2002), desde el campo de la biología celular, desacredita, hasta cierto punto, el paradigma genocentrista. Un punto de argumentación a favor del uso de transgénicos ha sido el de mantener que la modificación genética a partir de la cual estos organismos son creados difiere poco de las técnicas de mejora tradicionales. Schubert argumenta de la siguiente manera:

“En la discusión actual tienden a contraponerse argumentos emocionales irracionales contra la noción aparentemente racional de que la ingeniería genética es igual que los cultivos tradicionales, solo que más específica. Creo que no se ha puesto la suficiente atención a tres asuntos fundamentales: uno, que la introducción del mismo gen en dos tipos distintos de células puede producir dos tipos muy distintos de moléculas de proteína; segundo, que la introducción de cualquier gen, ya sea de la misma especie o de una diferente, generalmente cambia significativamente la expresión genética, y por ello, el fenotipo de la célula receptora; y tercero, que las vías enzimáticas introducidas para sintetizar moléculas pequeñas, como

vitaminas, podrían interactuar con vías endógenas para producir moléculas novedosas. La consecuencia potencial de todas estas perturbaciones podría ser la biosíntesis de moléculas que resulten tóxicas, alergénicas o carcinogénicas. Y no hay ninguna manera de predecir los resultados *a priori*."

Con esta línea argumentativa, Schubert parece buscar desalentar a quienes mantienen que la modificación genética es inocua, y que las tecnologías actuales de creación de transgénicos son lo suficientemente confiables para producir organismos seguros y equivalentes a sus contrapartes silvestres.

Si se admite la postura holista, tiene que admitirse también que añadir una nueva secuencia a un organismo existente y posteriormente liberarlo al medio ambiente puede resultar en cambios a muchas escalas, espacios y niveles, todos ellos con posibilidad de tener efectos adversos sobre la biodiversidad. Por ejemplo, los cambios pueden manifestarse al nivel de individuos, creando nuevas proteínas con efectos tóxicos; al nivel de poblaciones, haciéndolas más invasivas o persistentes, y al nivel de ecosistemas, al alterar interacciones con otros organismos vivos y con el ambiente. También se generan problemas potenciales en los sistemas sociales y ecológicos al cambiar las prácticas agrícolas o al dañar recursos biológicos de importancia cultural. Estos efectos no pueden separarse; los sistemas sociales, biológicos y ecológicos están interrelacionados y son interdependientes. Los cambios a una escala pueden generar impactos en varias otras escalas. Algunos efectos, como la toxicidad, están directamente relacionados con los cambios genéticos, mientras que otros efectos, como los cambios en el uso de pesticidas o de prácticas agrícolas, son efectos indirectos. Estos impactos están distribuidos en el tiempo. Pueden ser observados inmediatamente y tener efectos a corto plazo solamente (por ejemplo, en una sola generación), o pueden manifestarse a largo plazo o ser persistentes en el ambiente, perdurando por muchos años y generaciones. Los efectos pueden también ser retardados. Esto es, puede haber un tiempo de retraso entre la liberación de un OGM y la observación de sus efectos en el ambiente. Por ello, es importante reconocer que nuestra experiencia con OGMs, hasta el día de hoy, ha sido limitada. Los OGMs se han cultivado comercialmente por poco más de quince años, y la mayoría de las evaluaciones de riesgo se han llevado a cabo durante una o dos temporadas. Por ello, tenemos poco conocimiento directo de los efectos retardados o a largo plazo que pudieran causar (Barrett, 2001). Rowland (2002) acepta estas preocupaciones y las extiende también a los métodos tradicionales de cultivo: "Se ha manifestado preocupación sobre el potencial de los efectos

pleiotrópicos o no intencionales (de la modificación genética), por ejemplo, una expresión de genes alterada que lleve a niveles aumentados de anti-nutrientes, toxinas novedosas o alérgenos, como resultado del evento de inserción. Es importante resaltar, sin embargo, que los métodos de cultivo convencionales presentan oportunidades similares de inducción de efectos no intencionales, debido a reacomodos genéticos o a la inserción de genes extraños en regiones de regulación, alterando la expresión génica”.

Todos estos riesgos generan la necesidad de un análisis cuidadoso, de una evaluación de riesgos completa que nos asegure que los beneficios superan las posibles consecuencias de la liberación de productos de esta (y cualquier otra) tecnociencia. La realización de dichas pruebas siempre ha resultado compleja y varios científicos consideran que los métodos actuales son insuficientes e incompletos. Para empezar, no se toma en cuenta que debe usarse al organismo completo y sus derivados integrales, y no sólo a la proteína objeto de la biotecnología al momento de realizar los análisis de riesgo. Esto resulta preocupante, especialmente a la luz de opiniones como la de Hackett (2002) que pide que dichos análisis vayan mucho más allá: “ [...] Una modificación necesaria al modelo de análisis de riesgos (de los OGMs) es la inclusión del análisis de la variación de la información genética correspondiente al organismo en donde el transgén fue introducido. Los algoritmos tienen que tomar en consideración la mezcla y selección constante de genes que ocurre en cada generación. Esto requiere mucha más información básica sobre vías genéticas y sus interacciones. Por esto, los efectos *background* epigenéticos y ambientales podrían aumentar significativamente en la naturaleza a diferencia de los efectos que se registran en el laboratorio. Lo anterior genera la siguiente pregunta: ¿Puede extrapolarse adecuadamente un análisis de riesgos basado en experimentos de laboratorio al mundo natural? La respuesta es obviamente *no*.” (Hackett, 2002).

Además de esta incapacidad de extrapolar consecuencias, surge otro problema que es pertinente resaltar, alrededor del tema del análisis de riesgos de este tipo de organismos: el desencuentro de visiones genocentrista/organicista que describimos arriba no es meramente conceptual: tiene repercusiones prácticas. Hay una consecuencia directa del paradigma reduccionista que puede tener fuertes repercusiones a diversos niveles: el concepto de “equivalencia sustancial”, que surge a partir de la visión genocentrista y que se utiliza frecuentemente como método de análisis y evaluación de riesgos en el caso de los OGMs, favoreciendo desde el comienzo de su aplicación la introducción permisiva de OGMs al

ambiente. A continuación describiré brevemente algunos aspectos de este método de evaluación de riesgos, y los problemas que han sido identificados en relación con éste.

EQUIVALENCIA SUSTANCIAL

El concepto de "equivalencia sustancial" fue desarrollado en 1993 por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) para tratar de racionalizar el proceso de evaluación de seguridad y para superar las dificultades de la valoración toxicológica de los alimentos. Dicho concepto implica que si puede demostrarse que el alimento novedoso es esencialmente similar a su contraparte convencional, probablemente no sea ni más ni menos tóxico que este último. Por ello, no hay necesidad de realizar pruebas toxicológicas extensas. El término, sin embargo, fue acuñado antes por la Oficina de Evaluación de Artefactos (Office of Device Evaluation u ODE) de la FDA estadounidense en el contexto de la evaluación de nuevos artefactos médicos que tienen una función comparable con los artefactos médicos existentes. (König, 2004). La formulación de 1993 de la OCDE, que fue ratificada por la FAO y la OMS en 1996, es la siguiente: "Para los alimentos y componentes de los alimentos desarrollados gracias a la aplicación de la biotecnología moderna, el acercamiento más práctico para la determinación es considerar si es que son sustancialmente equivalentes a productos alimenticios análogos, si es que estos existen. ...El concepto de equivalencia sustancial implica que los organismos existentes utilizados como alimento o como una fuente de éste pueden ser utilizados como la base para comparaciones cuando estamos evaluando la seguridad de un alimento o componente alimenticio que ha sido modificado o es novedoso, para consumo humano". (Millstone, 1999)

La equivalencia sustancial como método de regulación de OGMs encontró apoyo clave en las conclusiones de un informe de la National Academy of Sciences (Academia Nacional de Ciencias) de los EE.UU. de 1987 sobre el impacto ambiental de este tipo de organismos, que menciona que las propiedades de un organismo, más que el proceso mediante el cual éste es producido, son el fundamento de su seguridad (Macilwain, 2000). Este y otros paneles internacionales de expertos han determinado que no existen riesgos inherentes en el uso de tecnologías de ADN recombinantes en la producción de alimentos, ya que todo el ADN tiene la misma estructura química y porque la transferencia de material genético no sólo ocurre en el

laboratorio sino que ha sido una fuerza fundamental para la evolución. Por esta razón es por lo que se han desarrollado conceptos que nos ayuden a enfocarnos, para la evaluación de seguridad de los OGMs, en los cambios funcionales y químicos que resulten de la modificación genética (König, 2004).

El concepto de equivalencia sustancial surgió en respuesta al reto que enfrentaban las autoridades regulatorias al inicio de la década de los noventa. Las compañías biotecnológicas habían desarrollado una serie de alimentos GMs y, para obtener la confianza de los consumidores, buscaron obtener una aprobación oficial para su introducción comercial. Sin embargo, los estatutos gubernamentales no abarcaban los alimentos GMs, y tampoco podían regular estos desarrollos. Las compañías biotecnológicas querían que los reguladores del gobierno ayudaran a convencer a los consumidores de que sus productos eran seguros, pero querían también que las barreras regulatorias fueran lo más suaves posible. Los gobiernos, por otro lado, querían un acercamiento regulatorio a los OGMs que fuera aceptado internacionalmente y que no inhibiera el desarrollo de las compañías biotecnológicas domésticas. La adopción del concepto de equivalencia sustancial por los gobiernos de los países desarrollados le permitió a la industria de alimentos GMs que, mientras no trataran de comercializar alimentos GMs que tuvieran una composición química demasiado diferente a la de los alimentos que ya estaban en el mercado, pudieran introducir sus alimentos modificados sin necesidad de someterlos a pruebas toxicológicas y de seguridad. El comité de la FAO/OMS recomendó, entonces, que los alimentos GMs fueran tratados análogamente a sus contrapartes no GMs, y se evaluaran principalmente comparando su composición con la de sus predecesores naturales. Sólo si existiesen diferencias obvias e importantes en su composición sería apropiado pedir más exámenes; ésto se decidiría caso por caso (Millstone, 1999).

El proceso para establecer equivalencia sustancial en el caso de los OGMs consta de los siguientes pasos:

- (1) Identificar los componentes nutricionales o anti-nutricionales más importantes del alimento, además de las toxinas conocidas;
- (2) Cultivar cosechas GMs en varios sitios por varios años para establecer variación debida a la posición geográfica, las condiciones de crecimiento, las condiciones de suelo y el clima;
- (3) Comparar los componentes del alimento GM y del convencional utilizando análisis

estadísticos (Rowland, 2002).

Los factores que se toman en cuenta al comparar un alimento GM con su contraparte tradicional incluyen:

1. Identidad, fuente y composición,
2. Efectos del procesamiento y del proceso de cocción,
3. El proceso de transformación, el ADN en sí mismo y los productos proteicos de la expresión del ADN introducido,
4. Toxicidad y alergenicidad potencial y posibles efectos secundarios,
5. Impacto dietario potencial de la introducción del alimento GM (FAO, 2001).

La aplicación del concepto de equivalencia sustancial requiere que se equipare un cultivo GM con un comparativo "seguro" de acuerdo a sus características agronómicas y morfológicas y a su composición química, incluyendo macro y micro nutrientes, toxinas y antinutrientes. Esto permite identificar las diferencias significativas entre el cultivo GM y el comparativo, que generalmente es el cultivo parental tradicional. Se seleccionan parámetros composicionales típicos del cultivo que está siendo analizado, representativos de las principales vías metabólicas. Si existen cambios significativos en estos parámetros, esto nos indica que debe haber más cambios fundamentales en el cultivo que deben ser evaluados por su potencial de tener consecuencias adversas para la salud humana (König, 2004).

La aplicación exitosa del concepto de equivalencia sustancial depende de tres elementos críticos: la disponibilidad de un comparativo adecuado y una comprensión del rango de variación que debe esperarse de las características medidas de dicho comparativo; la selección de parámetros para obtener conclusiones adecuadas; la habilidad de discriminar entre las diferencias del cultivo GM y su comparativo que resultan de la modificación y las del germoplasma vegetal, algunas de las cuales pueden ser atribuidas a variación introducida durante el cultivo de tejidos y a las condiciones del cultivo y del ambiente (König, 2004).

Todas las diferencias identificadas deben ser evaluadas para detectar si podrían tener consecuencias adversas para la salud humana. Por ello, la equivalencia sustancial es el punto de partida y el concepto guía para una evaluación de seguridad, no su conclusión. Si no existen cambios significativos, o si las diferencias existentes no presentan amenazas para la salud, se considera que el producto GM es "tan seguro como" su contraparte. Este acercamiento también

aplica para cultivos GMs con modificaciones metabólicas más complejas que por ello no tienen un único cultivo tradicional que pueda funcionar como un comparativo adecuado, pero donde existen sustancias de uso común, componentes o ingredientes alimenticios u otros alimentos completos que son considerados seguros y que puedan ser utilizados como comparativos (König, 2004).

Se han identificado una serie de puntos débiles del concepto de equivalencia sustancial y su aplicación. El primero de ellos es conceptual. La definición de equivalencia sustancial de la OCDE que cité arriba es la más cercana a una "oficial"; sin embargo, es demasiado vaga como para servir como una referencia inamovible para el desarrollo de políticas de salud pública. El concepto de equivalencia sustancial nunca ha sido correctamente definido; el grado de diferencia en que un alimento modificado y su contraparte dejan de ser aceptablemente equivalentes nunca ha sido establecido, ni se ha llegado a una definición exacta por parte de los legisladores. Es precisamente esta vaguedad la que hace de este concepto una herramienta útil para la industria pero inaceptable para los consumidores. Resulta interesante cómo esta vaguedad en la definición, que para otras herramientas regulatorias como el principio de precaución constituye un objeto de crítica fundamental, en este caso no sólo no es criticada sino que es vista como ventajosa (Millstone, 1999).

El segundo problema es de aplicación y de interpretación de resultados. Los científicos comparan el alimento o sus componentes genéticamente modificados con su contraparte convencional, identificando los genes únicos, los parámetros agronómicos y su composición, de la que los nutrientes y antinutrientes son parte importante. Sin embargo, lo que genera problemas en el concepto de equivalencia sustancial es que se puede tener tres tipos posibles de resultados. El primero es que el cultivo se considere sustancialmente equivalente a su contraparte tradicional, y por ello, no requiera más pruebas ni análisis. Hay muy pocos casos que entran en esta categoría; no hay muchos cultivos GMs que no sean de algún modo diferentes a su contraparte tradicional, en su forma o composición. El segundo tipo de resultados es un producto que es 99.99% como su contraparte convencional, pero es 0.01% diferente, y es esta diferencia la que nos genera conflictos por efectos imprevisibles. Este cultivo sería sustancialmente equivalente a su contraparte tradicional si no fuera por los rasgos introducidos (mediante transferencia genética). Uno debe de enfocar el análisis de seguridad en esas características únicas y los productos génicos asociados con ellas. El tercer tipo de resultados es un producto que no es sustancialmente equivalente al alimento aceptado, ya que

contiene componentes intencionalmente alterados y es significativamente diferente a su contraparte convencional. No existe un consenso para evaluar la seguridad de este último tipo de productos, y obtenerlo va a ser un proceso complicado, ya que probablemente se requiera crear nuevas pruebas para la evaluación de seguridad de estos productos, sustancialmente diferentes a los tradicionales (Taylor, 2003).

Otro problema de aplicación es que resulta difícil definir los componentes críticos de las plantas que van a ser utilizados para comparar la planta GM con la planta convencional. Este proceso depende del conocimiento previo que se tiene acerca de dicha planta; por esto mismo, los avances en tecnologías de microarreglos de ADN, proteómica y perfil metabólico van a facilitar mucho el proceso de evaluación de seguridad de los OGMs en un futuro no muy lejano. Estas técnicas nos permitirían comparar los perfiles metabólicos de las plantas GMs y convencionales, e identificar diferencias y similitudes en miles de genes y proteínas en ambos tipos de plantas. Estos métodos también ofrecen la posibilidad de identificar efectos inesperados de la manipulación genética, que es una crítica común a los procesos actuales de evaluación. Sin embargo, estas técnicas no están lo suficientemente desarrolladas, y antes de poder utilizarlas en el proceso de evaluación de seguridad, hay que superar ciertas dificultades en términos de estandarización y validación de las evaluaciones: cómo aplicar estadística a los datos obtenidos, cómo interpretar dichos datos y cómo incorporarlos al proceso de evaluación de seguridad (Rowland, 2002).

Hay otros problemas relacionados con la evaluación de riesgos de los OGMs mediante la perspectiva reduccionista-determinista que es la equivalencia sustancial. Si se considera a los organismos únicamente como sumatorias de genes, y las pruebas de seguridad se hacen con proteínas aisladas, se genera un absurdo. No hay manera de que una evaluación realizada a partir únicamente del componente genético y su derivado protéico sea completa y brinde resultados extrapolables al medio natural. Mucho menos si el proceso de transformación comprende la introducción aleatoria y hasta cierto punto no controlada de genes extraños, la selección tendenciosa de los ejemplares que portan y expresan la mutación introducida y que se comportan como es deseado, y poco más. La transgénesis es mucho más agresiva, inexacta e inestable que los procesos de modificación genética que ocurren en la naturaleza de forma común y frecuente, y por ello no puede analizarse únicamente por las partes que fueron modificadas.

Desafortunadamente, varios grupos de expertos alrededor del mundo han revisado el concepto de equivalencia sustancial a la luz de las críticas, y han concluido que el concepto sigue siendo el mejor paradigma de evaluación disponible; no se han propuesto acercamientos alternativos para la evaluación de seguridad de alimentos derivados de cultivos GMs (König, 2004). El problema persiste porque de ninguna forma significa que la equivalencia sustancial es suficiente para una evaluación de riesgos veraz y completa, sino que es la única que tenemos, que no se han desarrollado otras más completas, probablemente por las ventajas que este acercamiento le brinda a la industria, y por el respaldo que tiene por parte de los biotecnólogos genocentristas y de los gobiernos que, a favor del interés general, deberían establecer otros métodos de evaluación más rigurosos. Es preocupante que una tecnociencia con consecuencias potenciales tan importantes como la de los OGMs no tenga una forma de ser evaluada más que la que originalmente se desarrolló para evaluar artefactos médicos; no es lo mismo comparar dos objetos, dos aparatos, y decidir que si uno es seguro en función de sus similitudes; si son lo suficientemente parecidos, equivalentes, y uno es seguro, el otro también lo es. En el caso de organismos vivos no basta una comparación química y morfológica, pues no estamos analizando aparatos cuyos parámetros puedan ser fácilmente evaluados y comparados; se trata de seres vivos que van a ser liberados al ambiente y que van a interactuar dentro de sistemas ambientales complejos. Sin embargo, este factor difícilmente es tomado en cuenta, ya que las evaluaciones mediante equivalencia sustancial se hacen en función del efecto que puedan tener los cultivos GM solamente en la salud humana, no en el ambiente. Su seguridad es determinada (y de manera deficiente) sólo para cuestiones de salud humana, no ambiental, social, política y económica. Por consiguiente, se trata de una evaluación de riesgos sesgada y deficiente.

Los análisis de riesgo tradicionales para tecnologías agrícolas tratan a los OGMs como entidades biológicas descontextualizadas que pueden ser sujetas a investigaciones empíricas aisladas. Aun cuando ésto es perfectamente legítimo en contextos particulares, tales evaluaciones son problemáticas porque no toman en cuenta que los cultivos modificados también son objetos con valor social y significado económico, legal, cultural y estético. El factorizar estos aspectos de los transgénicos en análisis de riesgos pueden generar evaluaciones muy distintas de los OGMs y expandir el rango de gente que puede tomar parte activa en el debate sobre esta tecnología. Aún cuando el acercamiento de equivalencia sustancial parece plausible y simple, es incompleto, y debe ser sustituido por uno que considere no sólo evaluaciones a nivel químico sino también biológico, toxicológico e inmunológico a nivel técnico

y que considere todos los factores ambientales, sociales, económicos y políticos que son pertinentes y que se ven afectados por el uso de esta tecnociencia (de Melo-Martín, 2008; Millstone, 1999).

Hay una cuestión más sobre la equivalencia sustancial y su relación con los distintos paradigmas del trabajo biológico que es pertinente desarrollar. Si se determina que un producto GM es sustancialmente equivalente a su contraparte natural (aún entendiendo lo inexacto que es este concepto y lo inapropiado que resulta para evaluar organismos vivos, completos) se desata una cuestión polémica a nivel de evaluaciones de costo-beneficio: para un genocentrista, el admitir equivalencia sustancial equivale (valga la redundancia) a admitir que no existen riesgos, y por ésto mismo cualquier beneficio que nos brinde un OGM es suficientemente válido como para aceptar y promover su uso. A pesar de la evidencia de que no puede establecerse una equivalencia sustancial entre OGMs y sus contrapartes naturales, y aun si logra establecerse, ésta no ofrece una evaluación efectiva, muchos biotecnólogos siguen manteniendo que no sólo existe equivalencia sustancial en un sinnúmero de casos, sino que además, el que ésta exista es evaluación suficiente de que un OGM no es riesgoso. Podría pensarse que si se valida la equivalencia sustancial, se invalida la controversia sobre el costo-beneficio del uso de OGMs, porque siempre serán más importantes los beneficios al no haber riesgos. Incluso podría llegarse al extremo de pensar que se está generando biodiversidad por el uso de ingeniería genética y biotecnología, porque estamos introduciendo cambios nuevos y haciendo nuevas combinaciones, es decir, generando variación (fundamental en el mundo natural). Viendo la otra cara de la moneda, encontramos la siguiente postura: los que apoyan el paradigma holista rechazan la equivalencia sustancial por pensar que no hay manera de que se admita que un OGM es *equivalente* a un organismo silvestre, por la simple razón de que ha sido intervenido técnicamente. Para ellos, entonces, los riesgos siempre serán mayores a los beneficios, sobre todo cuando estamos hablando de una tecnología que no producirá beneficios públicos adecuadamente distribuidos entre toda la sociedad (de lo que se hablará más adelante). La controversia científica de los dos paradigmas nos conduce, entonces, a aceptar o rechazar, la equivalencia sustancial. De la mano con esta discusión sobre cómo se perciben los riesgos (la ausencia o presencia de ellos) según el cristal con que se mire, vale la pena mencionar que aceptar y utilizar el concepto de equivalencia sustancial para la toma de decisiones obstaculiza con falsos positivos las investigaciones sobre los posibles riesgos de los alimentos GMs: como no presentan, según este acercamiento, riesgo alguno, entonces no es necesario mejorar las

evaluaciones de un riesgo en apariencia “inexistente”. Sin embargo, lo verdaderamente conflictivo es que el rechazo o aceptación de un concepto como la equivalencia sustancial dependa de un paradigma científico cuando no es, propiamente, un concepto científico: es un criterio político y comercial que poco tiene que ver con la ciencia al momento de tomar decisiones. Es decir, responde a la necesidad de justificar o legitimar la plausibilidad de una tecnología para su libre comercialización en todo el mundo, más que a un auténtico análisis completo de la naturaleza de estos bioartefectos: es una herramienta del mercado, no un método de análisis de riesgos. Podría, incluso, argumentarse, como hace Millstone (1999), que es un concepto inherentemente “anticientífico” porque fue creado originalmente para brindar una excusa para no realizar análisis bioquímicos o toxicológicos en una tecnología que los necesitaría; ésto es, carece de rigor científico, de acuerdo con los estándares exigidos en cualquier investigación. Por ello, la función que cumple es la de desalentar e inhibir investigaciones científicas que potencialmente contradigan los supuestos beneficios e inocuidades de los OGMs.

Si a lo largo de este capítulo hemos establecido que el determinismo genético debería haber sido superado hace mucho tiempo, en especial a la luz de toda la evidencia actual que respalda una postura organicista y no genocentrista, ¿por qué permanece, y por qué su aplicación práctica (la equivalencia sustancial) se sigue utilizando como referente de regulación en el caso de los OGMs?

La metáfora de ver a los genes como “información” favorece, seguramente, la artefactualización de los genes y sus productos mediante la “construcción” de OGMs: los agrupa en la misma categoría, tal vez, de procesadores y operadores informáticos que merecen ser patentados en caso de ser mejorados. El error, entonces, puede deberse en parte a una interpretación conceptual errónea, a una metáfora mal utilizada. O a varias. Griffiths (2006) describe una en particular de la siguiente manera: “la sabiduría convencional señala que mientras los rasgos de un organismo sean sujetos a explicaciones biológicas, entonces esos rasgos expresan información codificada en los genes de dicho organismo [...] sin embargo, la única verdad reflejada en dicha postura convencional es la de que hay un código genético mediante el cual la secuencia de bases de ADN en las regiones codificantes de un gen corresponden a la secuencia de aminoácidos en la estructura primaria de una o más proteínas. El resto del “discurso de la información” en la biología es solo una forma pintoresca de hablar de

correlación y causación. Sin embargo, no hay una noción clara y técnica sobre la “información” en la biología molecular. Es sólo una metáfora que pasa por un concepto teórico y nos lleva a malentendidos sobre posibles explicaciones en biología molecular”. Para Griffiths, el problema ha sido ya parcialmente resuelto por Susan Oyama, quien argumenta que “las causas genéticas están interpretadas deterministamente porque se cree que los genes representan un tipo especial de causa. Los genes son instrucciones – proveen información – mientras que otros factores causales son meramente materiales. La noción intuitiva de la información es una noción semántica, que contiene la implicación de que los genes, a diferencia de otros factores causales, están dirigidos a los resultados que ayudan a producir. Esto explica por qué la relación gen – rasgo parece intuitivamente más independiente del contexto que la relación entre los rasgos y otras causas.” Si Oyama tiene razón, argumenta Griffiths, entonces tenemos que encontrar una nueva forma de pensar sobre causación genética, como prerrequisito para solucionar la controversia naturaleza/crianza y para aprender a pensar claramente sobre la interacción de factores genéticos y de otros tipos en el desarrollo.

Oyama sugiere que el determinismo genético es inherente en la forma en la que actualmente nos representamos (socialmente) los genes y lo que los genes hacen. Los genes tienen un estatus causal privilegiado. Se cree que son los que causan el desarrollo de una forma fundamentalmente diferente de todos los otros factores materiales que se sabe están involucrados en el proceso. El discurso “interaccionista” que predomina hoy en día, lejos de desbancar el determinismo genético, simplemente lo refuerza, porque los genes siguen siendo representados como contenedores de información sobre cómo va a desarrollarse el organismo. Mientras los genes sigan siendo representados de esta forma, seguirán siendo vistos como causas, aun con toda la evidencia que pueda existir de lo contrario. La negación de que la información del desarrollo está localizada en los genes es lo que terminará finalmente con la establecida y superada idea del determinismo (Griffiths, 2006; De Melo-Martín, 2005).

Cualquier definición defendible de información en biología del desarrollo es igualmente aplicable para factores causales genéticos y no genéticos del desarrollo. Las definiciones de información en las que los genes contienen información del desarrollo le brindan propiedades a los genes que no pueden ser respaldadas por hechos físicos y biológicos. Por ello, si descartar las referencias a información sería útil, no hay una razón sustancial, biológica para no descartarla (Griffiths, 2006). Probablemente, si logramos deshacernos de las metáforas sobre

información, será más fácil deshacernos por fin de la postura reduccionista y determinista que, vemos ahora, tiene consecuencias.

Me parece que el siguiente extracto de un texto de Strohman (2001) concluye adecuadamente con las ideas expuestas en este capítulo y nos lleva a la segunda controversia a discutir:

“a la larga, la cuestión del determinismo genético se resolverá sólo cuando algo como la teoría dinámica-epigenética se encuentre lo suficientemente desarrollada para combatir al *status quo*. Por ahora, el problema que persiste es el tecnológico de generar organismos GMs a la luz de nuestra comprensión imperfecta de cómo funcionan las células vivas... simplemente no sabemos cómo éstas responden en el tiempo a las manipulaciones GMs y por ello hay un gran margen de error. Debemos trabajar en varios niveles: primero, necesitamos construir e imponer estándares científicos que restrinjan los intentos de modificar seres vivos... no sabemos cómo los organismos se construyen a sí mismos... seguimos sin saber bien cómo regulan sus genomas los organismos para producir organismos adultos. Mientras que continúa la investigación, las aplicaciones tecnológicas deben detenerse – hasta que estemos seguros de que podemos avanzar sin causar daños... buscar las reglas de los sistemas adaptativos que conforman la vida... apoyar trabajos que nos permitan descubrir restricciones al nivel de organismos multicelulares, poblaciones y ecosistemas... Conocer todas las proteínas individuales no revelará un programa; para encontrarlo, uno tiene que conocer las reglas de las redes de proteínas que se extienden en las células. El programa se localiza en toda la célula; la célula, a través de rutas de señalización, está conectada a entidades mayores y de ahí a todo el mundo exterior. Si lográramos encontrar la inspiración necesaria, financiera y de otros tipos, y la voluntad de implementar la investigación adicional tendríamos una ciencia y una tecnología... en la que todos podríamos invertir y de la que todos podríamos beneficiarnos”. (Strohman, 2001)

CAPÍTULO 4

CONTROVERSIA SOBRE LAS PATENTES DE ORGANISMOS VIVOS MODIFICADOS

Independientemente de los problemas tecnológicos que puedan tener los transgénicos y del enfoque erróneo con el que son justificados, temas que desarrollé previamente, hay otro aspecto de esta tecnociencia que es especialmente controversial. Dicho aspecto puede ser resumido de la siguiente manera: los transgénicos se encuentran en la agenda pública no por ser una tecnociencia innovadora, y no necesariamente por las posibilidades de desarrollo científico que nos brinda trabajar con ella. Los transgénicos son especialmente controversiales porque han sido creados para ser introducidos al sistema global de producción de alimentos. Como veremos en el capítulo siguiente, éste es un sistema que genera controversias por sí mismo, pero los transgénicos son el punto más reciente de discusión dentro de un asunto de importancia e interés global.

Una preocupación común, y que ya es una situación actual, se centra en la tendencia de monopolización de la producción mundial de alimentos en manos de unas cuantas compañías. También resulta preocupante que pueda generarse una dependencia de los países en desarrollo hacia las naciones industrializadas. Aunado e irremediablemente ligado a estos cuestionamientos, también es relevante el problema respecto a las restricciones de acceso a las tecnologías de producción alimenticia por los derechos de propiedad intelectual. Esta no es sólo una preocupación económica sino también ética; por ello, los factores socio-económicos y políticos son centrales en las controversias respecto a los OGMs, y de los más difíciles de resolver. En este capítulo analizaré los efectos problemáticos de la tecnociencia que produce los transgénicos desde el aspecto de la propiedad industrial; sin embargo, no debemos perder de vista el marco en el que este problema está inmerso, que es el del sistema de producción de alimentos, del que esta tecnociencia forma parte.

El sistema económico global se fundamenta en la propiedad privada y en la acumulación ilimitada de riqueza y poder de intervención en el mercado. La propiedad privada se garantiza y se protege mediante el sistema de patentes que, mediante acuerdos comerciales entre los Estados, tiene validez universal.

En este trabajo no profundizaré sobre las ventajas, desventajas y críticas al concepto de propiedad privada y a su importancia dentro de nuestras sociedades actuales. Sin embargo, analizaré una variante de la propiedad privada, fundamental para nuestro tema de interés: la propiedad industrial (PI). Esta es el conjunto de derechos que tiene una persona o compañía sobre una invención o innovación tecnológica; la definición abarca también los derechos que se tienen sobre diseños industriales, logotipos, nombres, marcas o signos distintivos de imagen en

el mercado, pero estas últimas dos no son relevantes para este trabajo. Como describiremos más abajo, la propiedad industrial es parte de un rubro más amplio, la propiedad intelectual, que abarca también los derechos de autor y los derechos conexos (ajenos, por su alcance, al tema de este trabajo).

En el ámbito económico, existe una controversia sobre el acceso libre o no a la información y al conocimiento y sobre los derechos restrictivos de propiedad industrial, así como a quién se le conceden estos derechos de propiedad y cómo los ejerce. Es por ello que la segunda controversia que considero pertinente analizar es la referente a la propiedad industrial de los OGMs. Para ello es fundamental, antes que nada, tener claro el concepto de dicha propiedad, el de patente, y el papel que estos conceptos juegan dentro del marco del sistema económico mundial, así como los puntos en los que intersectan con nuestro tema de interés.

PROPIEDAD INDUSTRIAL

El desarrollo de productos, procesos o servicios se representa hoy en día con las siglas I+D: Investigación y Desarrollo. La I+D, como podemos intuir a partir de las palabras que componen el concepto, busca generar nuevas tecnologías y conocimientos. En nuestro sistema económico, la innovación científico-tecnológica (y con ello, la I+D) se mantiene registrada y regulada mediante el sistema de patentes, que es la aplicación práctica de la Propiedad Industrial con la que se protegen las invenciones, y del que hablaremos con detalle más abajo. La Propiedad Industrial es una de las ramas de la Propiedad Intelectual; la otra es la Propiedad Autoral, mejor conocida como Derecho de Autor (o propiedad intelectual en sentido estricto), y se refiere únicamente a creaciones artísticas y literarias. En México, además de las dos subdivisiones tradicionales de la Propiedad Intelectual se incorpora una tercera, que es el Derecho de Obtentor, referente a semillas y variedades vegetales.

[\(http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/\)](http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/)

La Propiedad Industrial “protege las creaciones de la mente humana con aplicación industrial y comercial, como son invenciones, innovaciones, signos distintivos, nombres comerciales, denominaciones geográficas y esquemas de circuitos integrados”. Esta es un “conjunto de privilegios, derechos y reconocimientos que otorga el Estado” al creador de los productos mencionados. En el contexto académico, “la propiedad intelectual la constituyen las

ideas, la información y los conocimientos que dan lugar a productos, metodologías y tecnologías." Estos derechos tienen un carácter exclusivo, y se otorgan y reconocen únicamente por un tiempo determinado. (<http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/>)

Los derechos que otorga la propiedad industrial tienen tres características principales:

-Exclusividad- el titular de los derechos, es decir, aquél a quien el Estado se los otorga, es el único que cuenta con la autorización legal para explotar comercialmente aquello que dichos derechos protegen. Esto le permite evitar (o autorizar) que terceras personas hagan uso comercial del bien protegido.

-Territorialidad- lo protegido sólo puede explotarse por el titular en aquellos países que le hayan concedido los derechos correspondientes.

-Temporalidad- la explotación comercial exclusiva del bien protegido sólo puede hacerse durante un periodo limitado, que está determinado por el Estado.

(<http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/>)

El tema de la Propiedad Industrial gira alrededor de una idea particular: la protección de la innovación. El Manual de Frascati (OCDE, 1996) **define** la **innovación** como la transformación de una idea en un producto nuevo o mejorado que es introducido en el mercado, o en un proceso de fabricación nuevo o significativamente mejorado, que es utilizado en la industria o en el comercio. Dicho de otro modo, es la aplicación comercial de una idea. La innovación, desde este punto de vista, es un proceso que está íntimamente asociado con el mercado, que determina la exigencia y aceptación de las innovaciones, y en esta medida, obliga a las empresas a ser competitivas. Ya que la economía es cada vez más dependiente de la innovación, no resulta sorprendente que las patentes, como formas de protección de la propiedad intelectual, sean cada vez más un componente de la competitividad. Una invención, por otro lado, es la creación de una idea potencialmente generadora de beneficios comerciales, pero no necesariamente realizada de forma concreta en productos, procesos o servicios; no se convierte en innovación hasta que no se utiliza para cubrir una necesidad concreta (<http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/>; Bendekgey, 2002).

Para que un creador pueda obtener los derechos exclusivos de explotación comercial sobre su creación, estos se deben solicitar ante las Oficinas de Propiedad Industrial para así recibir el título correspondiente, en este caso, de una patente. La Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI, por sus siglas), mejor conocida como World Intellectual Property Organization (WIPO), creada en 1967, es la que se encarga de administrar los sistemas de propiedad intelectual en el mundo (<http://www.sugestec.unam.mx/sugestec/>). La mayoría de los países en los cuales se utiliza el sistema de patentes tienen un organismo nacional que legisla sobre la concesión de derechos sobre un producto de la propiedad industrial. En México, el organismo encargado de regular la propiedad intelectual es el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI, por sus siglas), creado en 1993. El IMPI, según su sitio web, es “un Organismo público descentralizado con personalidad jurídica y patrimonio propio y con la autoridad legal para administrar el sistema de propiedad industrial en nuestro país” (IMPI, 2008).

Según el IMPI, “se puede registrar bajo la figura de patente una invención, que es toda creación humana que transforma la materia o la energía, para el aprovechamiento del hombre y satisfacer sus necesidades. Son patentables las invenciones que cumplen con los requisitos de patentabilidad: que sean nuevas, sean resultado de una actividad inventiva y tengan aplicación industrial. Se obtiene protección bajo patente para productos y procesos” (IMPI, 2008).

La idea detrás del sistema de patentes es otorgar una protección jurídica que permita una mayor I+D a la que se suma otra “i”, de “innovación” junto con una mayor productividad sin que los desarrolladores tengan la preocupación de verse en algún momento afectados porque alguien imite o copie indebidamente sus procesos e invenciones y obtenga algún beneficio económico de éstos. Es decir, las patentes resultan útiles para el inventor debido a que su invento queda protegido; se le asegura recibir los beneficios económicos de su uso de manera exclusiva; tiene la posibilidad de otorgar licencias, que generan pago de regalías, a terceras personas para explotar su invento, dándole mayores beneficios económicos; otorga el derecho de protestar legalmente cuando la invención en cuestión es utilizada sin dicho consentimiento; finalmente, puede dar a conocer su invención sin riesgo a que ésta sea plagiada por terceras personas. El éxito de las patentes radica, principalmente, en que funcionan como una recompensa por el tiempo, dinero y esfuerzo invertidos en la creación de una invención; en otras palabras, le permiten al inventor recuperar lo invertido durante el proceso de creación. Es decir que sin patentes los inventores o las empresas encargadas de desarrollar innovaciones

tendrían una mayor dificultad para recuperar los costos del desarrollo de nuevas tecnologías. Sin ellas, habría ocasiones en que compañías o individuos podrían no embarcarse en el proceso de desarrollo de una innovación, aún cuando el beneficio social que pudiese desprenderse de ella fuese tan grande como para justificar los costos de desarrollo, si ésta no abriera la posibilidad de obtener las suficientes ganancias como para recuperar dichos costos. El propósito del sistema de patentes, además de recompensar al inventor es, posteriormente, gracias a la publicación de la patente, promover un uso más amplio de la invención. Este mecanismo de protección ha resultado tan exitoso que las compañías, sin importar su tamaño, están cada vez más conscientes de la importancia de contar con un portafolio de patentes que funcione como un medio para generar ganancias (<http://www.ppm.com.mx/relevancia.php>; <http://www.marcas.com.mx/Intro/IntroPatentes.htm>; [infopat.com.mx](http://www.infopat.com.mx); Elliot, 2002; Kornberg, 2001; Schimmelpfennig, 2004; Bendekgey, 2002).

Lo anterior lo resume de forma interesante la WIPO, que considera que es importante patentar por lo siguiente: "En primer lugar, el progreso y el bienestar de la humanidad reside en su capacidad de lograr nuevas creaciones en las esferas de la tecnología y la cultura. En segundo lugar, la protección jurídica de estas nuevas creaciones alienta la inversión de recursos adicionales que, a su vez, inducen a seguir innovando. En tercer lugar, la promoción y protección de la propiedad intelectual estimula el crecimiento económico, genera nuevos empleos e industrias y mejora la calidad y el disfrute de la vida." (www.wipo.int, 2010); Kornberg (2001) lo refrasea de la siguiente forma: "El propósito constitucional del sistema de patentes en Estados Unidos es el de promover el progreso de la ciencia y las artes útiles. Esto se consigue alentando a invertir en investigaciones de alto riesgo; las comunicaciones tempranas de patentes animan a otros a innovar, perfeccionar y diseñar en torno a la invención patentada".

Aún cuando las patentes sirven para proteger los inventos contra usos no autorizados y ayudan a promover los desarrollos tecnológicos, hay investigadores que piensan que patentar genera mayores males que bienes, ya que las patentes controlan la tecnología, limitando su desarrollo por razones comerciales. Asimismo, porque interfieren con el intercambio libre de información e ideas. Sin embargo, en la práctica las patentes alientan la transición de la tecnología al mercado. Esto se debe a que los descubrimientos e inventos rara vez pueden entrar al mercado en su primera forma, la desarrollada en el laboratorio, y requieren de esfuerzos posteriores, como estudios clínicos y de regulación (además de intensas campañas de mercadeo para que crear una nueva necesidad de consumo). Las patentes ayudan a que las

compañías estén dispuestas a invertir en estos procesos porque tienen asegurado un beneficio comercial al limitar la competencia de productos similares financiados por compañías rivales. Por ello, hay tantos que piensan que las patentes permiten, en vez de impedir, el manejo de la tecnología y progreso de la investigación en instituciones académicas, lo que beneficia a los científicos y sus instituciones (Kirschenbaum, 2002).

Una razón más por la que se considera importante hacer uso del sistema de patentes, aún cuando éste busca proteger una invención de su uso abierto y libre, es que debido a que entre los requisitos para otorgar estos derechos se requiere que el desarrollador entregue una descripción detallada sobre aquello que está patentando, dentro de los registros de patentes se cuenta con un gran número de documentos que divulgan información tecnológica al describir las invenciones. Estos documentos, además de destacar lo novedoso del desarrollo, construyen una historia de los avances tecnológicos del sector al que se refieren. Es decir, funcionan como una referencia básica sobre el estado del arte de un sector determinado de la ciencia y la tecnología (Ramírez et al, 2005).

Los derechos de Propiedad Industrial se otorgan por un periodo determinado. En México, al menos, la protección conferida por una patente es de 20 años, improrrogables, contados a partir de la fecha de presentación de la invención a la instancia correspondiente (IMPI, 2008). Al concluir este periodo se considera que lo patentado ha pasado a ser del dominio público, y puede ser utilizado sin la necesidad del consentimiento de aquél que patentó la invención en un principio.

Para poder patentar una invención se deben cumplir, entre otros, los siguientes requisitos:

- (1) El proceso o producto debe basarse en una manera universalmente nueva de transformar la materia o la energía existentes en la naturaleza. El invento no debe haberse dado a conocer con anterioridad.
- (2) El proceso o producto debe ser una creación de algún ser humano y no debe resultar evidente para un técnico en la materia.
- (3) El proceso o producto debe tener aplicación industrial, es decir, la posibilidad de ser producido o utilizado en cualquier rama de la actividad económica, sirviendo como solución a un problema o siendo útil de alguna manera a la humanidad.

(infopat.com.mx, <http://www.ppm.com.mx/relevancia.php>)

La Ley responsable de establecer los lineamientos de la propiedad industrial y del sistema de patentes en México es la Ley de la Propiedad Industrial y su reglamento (además, por supuesto, de distintos tratados internacionales de los cuales nuestro país es firmante), y la institución encargada de su aplicación es, lógicamente, el IMPI (infopat.com.mx, www.marcas.com.mx). Hay dos artículos en particular de la ley mencionada que, debido al tema de este trabajo, parece pertinente citar:

Artículo 15 de la Ley de la Propiedad Industrial.- Se considera invención toda creación humana que permita transformar la materia o la energía que existe en la naturaleza, para su aprovechamiento por el hombre y satisfacer sus necesidades concretas.

Artículo 16 de la Ley de la Propiedad Industrial.- Serán patentables las invenciones que sean nuevas, resultado de una actividad inventiva y susceptibles de aplicación industrial, en los términos de esta Ley, excepto:

- I.- Los procesos esencialmente biológicos para la producción, reproducción y propagación de plantas y animales;
- II.- El material biológico y genético tal como se encuentran en la naturaleza;
- III.- Las razas animales;
- IV.- El cuerpo humano y las partes vivas que lo componen, y
- V.- Las variedades vegetales.

Complementando lo anterior, cabe mencionar que la Ley de la Propiedad Industrial establece que no se considerarán como invenciones:

1. Los principios teóricos o científicos;
2. Los descubrimientos que consistan en dar a conocer o revelar algo que ya existía en la naturaleza, aun cuando anteriormente fuese desconocido por el hombre;
3. Los programas de computación;
4. Las creaciones estéticas y las obras artísticas o literarias;
5. Los métodos de tratamiento quirúrgico, terapéutico o de diagnóstico aplicables al cuerpo humano y los relativos a animales.
6. Los procesos esencialmente biológicos para la producción, reproducción y propagación de plantas y animales;
7. El material biológico y genético tal como se encuentran en la naturaleza;
8. Las razas animales;

9. El cuerpo humano y las partes vivas que lo componen, y
10. Las variedades vegetales. (www.marcas.com.mx)

Retomando el último punto de esta lista, la ley contempla que las plantas pueden ser protegidas de tres maneras distintas alrededor del mundo: mediante protección de variedades vegetales, patentes tradicionales, o en Estados Unidos por patentes de plantas. La protección de variedades vegetales es más fácil de obtener que una patente (en caso de que el país en cuestión permita este tipo de protección: sólo lo permiten aquellas naciones donde es legal patentar formas de vida superiores, como en como Estados Unidos, Japón, Australia y Europa) ya que implica menos requisitos experimentales y descriptivos así como un menor costo, pero otorga un grado de protección mucho menor. Por ejemplo, un campesino que guarda y replanta semillas puede hacerlo si estas están protegidas como variedades vegetales; sin embargo, si están protegidas por patentes, el dueño de ésta puede prohibir el uso y venta de la planta o la semilla, forzando al campesino a adquirirlas año con año (Sechley, 2002).

VARIETADES VEGETALES

Tanto los artículos de la Ley de Propiedad Industrial que cité como el listado de lo que dicha ley no contempla como invenciones, excluyen las variedades vegetales de la posibilidad de patentar. Ello es crucial para el tema que nos concierne, es decir, las plantas genéticamente modificadas; aquí, la discusión se suscitó una vez que, debido a la imposibilidad de patentar semillas y otros productos naturales, se creó una legislación particular que atiende las variedades vegetales. Éstas pueden ser definidas como aquellas subdivisiones de especies vegetales que están en la naturaleza, pero que han sido descubiertas o desarrolladas por el ser humano. Deben presentar las siguientes características:

- (1) Nuevas;
- (2) Distintas, es decir, que deberán distinguirse técnica y claramente en uno o varios caracteres pertinentes de cualquier otra variedad vegetal.
- (3) Estables, es decir, que se conserven inalteradas inclusive después de reproducciones o propagaciones sucesivas.
- (4) Homogéneas, es decir, que sus caracteres pertinentes deberán permanecer uniformes.

La persona que logra la obtención de una variedad vegetal y la pone al servicio de los demás, al igual que si fuera una patente, tiene protección legal para la explotación exclusiva de la misma, de manera temporal por sí mismo o por terceros autorizados para ello. Es decir, recibe prácticamente los mismos beneficios que si contara con una patente.

<http://www.marcas.com.mx/Intro/IntroPatentes.htm>

A nivel internacional, las variedades vegetales (obtenidas ya sea por mecanismos tradicionales o por técnicas de modificación genética) se encuentran protegidas por la Convención de la Unión Internacional para la Protección de Nuevas Variedades de Plantas (UPOV, por sus siglas en francés). Este es un acuerdo internacional que establece un estándar mínimo para la protección de variedades vegetales, que las naciones firmantes cumplen mediante sus legislaciones particulares. Dicho acuerdo protege, durante un mínimo de 20 años, las variedades que cumplan con los cuatro criterios que mencioné arriba, correspondientes a nuestra forma de protección de dichas variedades. Fue adoptado en 1961 y revisado en 1991. La última versión de UPOV permite la protección de todo tipo de plantas y elimina lo que se conoce como "privilegio del agricultor", que son los derechos que tiene un campesino para replantar semillas para uso personal, al proteger todos los aspectos de producción y reproducción de una variedad vegetal; la versión anterior del tratado se limitaba a proteger ciertas plantas únicamente y otorgaba el privilegio del agricultor. Sin embargo, dicho acuerdo permite que los países hagan excepciones y permitan dicho privilegio si lo consideran pertinente; ésto es particularmente grave para los campesinos en países en desarrollo, que dependen de sus cultivos para su alimentación personal (Schimmelpfennig, 2004; Sechley, 2002; Fleck, 2003).

De acuerdo con la Convención de la UPOV, una variedad vegetal desarrollada por un criador se define como un grupo de plantas de un mismo taxón botánico del rango conocido más bajo. La definición es complementada mediante la expresión de al menos una característica que resulta de un genotipo dado y que distingue esa variedad de otros grupos de plantas (Fleck, 2003).

PATENTES DE ORGANISMOS VIVOS

Las leyes de patentes son muy claras y directas respecto a qué puede o no patentarse. Sus criterios están bien establecidos, y han sido útiles desde hace décadas para establecer propiedad sobre las innovaciones. El problema es que el material sujeto a ser patentable es lo que no respeta las líneas de claridad que marca dicha legislación. El caso de las patentes de organismos vivos es especialmente problemático, y a lo largo de los siguientes apartados analizaremos el por qué. Sin embargo, puedo adelantar que muchas de las críticas se deben a que la legislación existente fue trazada para cubrir invenciones de objetos inanimados, fabricados técnicamente con materia inorgánica; el lidiar con establecer propiedad de algo que no es enteramente original, porque existía previamente en la naturaleza, ha sido problemático para las oficinas encargadas de emitir patentes, y desde luego, para los científicos y filósofos que argumentan que dichas patentes no deberían ser otorgadas. Es alrededor de este tema, y por esta y otras razones, que el otorgamiento de patentes en relación con organismos vivos genéticamente modificados constituye la segunda controversia que me parece importante tratar.

Fleck (2003) coincide en considerar lo anterior como pertinente: “La biología molecular y el desarrollo de nuevas técnicas, que van desde la secuenciación genética hasta la creación de transgénicos, han generado un nuevo reto para el sistema de patentes. Las leyes nacionales e internacionales de patentes fueron desarrolladas para inventos técnicos, pero al momento de que las reglas y regulaciones para dichas leyes fueron establecidas el desarrollo de inventos que involucraran formas de vida no era concebible [...] Respecto a productos convencionales, es comparativamente más sencillo y claro el evaluar si un competidor está infringiendo los derechos del dueño de una patente al desarrollar y comercializar un producto patentado sin tener permiso para ello. Sin embargo, como las plantas son organismos que se auto-propagan mediante el polen, la evaluación de las infracciones es mucho más difícil para las plantas transgénicas” (Fleck, 2003).

Existen dos requisitos que se han vuelto muy relevantes en el campo biomédico/biotecnológico en años recientes: el requisito de que las peticiones de patentes estén dirigidas a materiales que son elegibles para ser patentados y el de que la invención sea útil. En este caso particular, los productos de la naturaleza son patentables si se encuentran en una forma que no ocurre en la naturaleza (valga la redundancia), es decir, si han sido alterados de una u otra manera por la mano del ser humano. Respecto a la utilidad, ésta tiene que ser específica, sustancial y creíble. Debe, además, estar específicamente relacionada con lo que

normalmente se asocia con la utilidad de lo que va a ser patentado, descartando lo contrario (un ejemplo típico es el del uso de un ratón transgénico como alimento para serpientes). Una utilidad sustancial es un uso real que un fin en sí mismo, por ejemplo, un método para crear un compuesto farmacológico útil, o una herramienta que sirva para realizar una tarea determinada. Una proteína o un ácido nucleico, cuyas funciones son desconocidas y cuyo único uso sería el de permitir investigaciones posteriores, no tendrían utilidad sustancial (Elliot, 2002).

HISTORIA DE LAS PATENTES DE ORGANISMOS VIVOS

Antes de entrar de lleno a la historia de las patentes que nos conciernen, conviene describir cómo fue que se otorgó la primera patente y a quién. En 1449, el Rey Enrique VI de Inglaterra, buscando cumplir con el principio de transparencia que se establecía en el gobierno inglés, le otorgó su Gran Sello a una carta abierta (conocida como una carta de patente) a John de Utynam, lo que le otorgaba el derecho monopólico de fabricar cristal teñido en Inglaterra por 20 años, a cambio de que él educara a los ingleses en este arte que guardaba celosamente. El arreglo que comenzó entonces entre el individuo y la Corona le otorgaba al inventor un periodo limitado de monopolio, comúnmente de 14 años, quien a cambio le brindaba al Estado su invención y los medios para producirla. El inventor, al poder producir su invento sin competencia, recibía el incentivo necesario para seguir inventando y obtener ganancias de ello (Spier, 2005).

Han pasado siglos desde entonces; aun cuando el principio detrás de las patentes sigue siendo el mismo, los objetos patentables han cambiado por efecto de los avances científicos y tecnológicos, de una forma que no ha estado exenta de discusión. Por ejemplo, el debate sobre las patentes de la vida ha emergido como una respuesta al floreciente comercio de bio-invencciones a lo largo de los últimos 30 años. La industria biotecnológica ha crecido exponencialmente, y con ello, también han aumentado sus productos y el costo de obtenerlos. Sin embargo, aún cuando los procesos y productos biológicos han sido utilizados en la industria desde hace años, las invenciones biotecnológicas originalmente no eran patentables. El razonamiento detrás de esto era que los organismos vivos tienen características especiales, como la habilidad de replicarse y propagarse, que complican imponerles una protección estricta (Kuanpoth, 2003).

EL primer fallo de una corte que estableció un precedente para permitir las patentes de la vida ocurrió en 1969. Este fue el del caso *German Red Dove*, que dictaba que una técnica de cría de animales era patentable y que marcó por primera vez en una corte europea que un método biotecnológico fuera sujeto de protección de patentes. El segundo caso paradigmático fue una patente otorgada en 1980 por la Suprema Corte estadounidense en el caso *Diamond contra Chakrabarty* sobre una bacteria en la que se había insertado un plásmido proveniente de otra cepa, lo que le permitía desintegrar el petróleo crudo. La posible utilidad de esta modificación radicaba en su capacidad de ser utilizada para la limpieza de playas y costas afectadas por derrames de petróleo. En un principio, la Oficina de Patentes rechazó la solicitud con el argumento de que los seres vivos no podían ser patentados. Sin embargo, la decisión fue apelada, llegando hasta la Suprema Corte, que estableció que “cualquier cosa hecha por el hombre era sujeta a patentarse”; esta bacteria no era simplemente un producto de la naturaleza, sino que, al haber sido genéticamente modificada, era considerada algo manufacturado, y por ello, patentable. Lo que podía ser patentado bajo la ley estadounidense no dependía de si la invención era materia viva, sino de si era resultado de la naturaleza o hecha técnicamente. A partir de esta controversia legal se sentó el precedente que permite obtener una patente sobre un ser vivo completo, que potencialmente sea útil a corto o mediano plazo como aplicación biotecnológica; este precedente, que permite que se patenten formas de vida recombinantes, abrió una larga discusión sobre si era extrapolable a formas purificadas o aisladas de productos biológicos que ocurren naturalmente, como genes y proteínas. (Alvarez-Buylla y Piñeyro, 2008; Kuanpoth, 2003; Elliot, 2002; New Atlantis, 2008; Schimmelpfennig, 2004).

En 1987, la oficina estadounidense de patentes amplió el rango de vida animal patentable para incluir no sólo a los microorganismos, los primeros en recibir este tipo de protección, sino también a todos los organismos vivos multicelulares no humanos que no ocurren naturalmente, incluyendo animales. El primer animal patentado bajo esta ampliación fue un ratón cuyas células contenían una secuencia y activada de un oncogen, de ahí que se conociera como “*OncoMouse*”. Los oncogenes aumentan la probabilidad de que un animal desarrolle tumores si lo presenta; el que este ratón portara este gen lo convertía en un modelo útil para las investigaciones sobre cáncer. *OncoMouse* fue patentado el 12 de abril de 1998, y ello desencadenó una serie de otras patentes de animales GMs, como ranas, vacas, gatos y perros.

A partir de esas primeras patentes, una serie de innovaciones agrícolas también fueron patentadas en años posteriores a la decisión de *Diamond vs. Chakrabarty*, abarcando las plantas en sí mismas, así como las semillas, los métodos de cruce y, desde luego, los conocimientos formalizados de la biotecnología agrícola. En 2001, hubo otra batalla legal que favoreció lo anterior: *Pioneer Hi-Bred International, Inc. vs J.E.M. AG Supply, Inc. et al.*, que estableció que concede la patente (al menos en Estados Unidos) para proteger plantas mediante patentes tradicionales, aún cuando éstas se encuentren ya protegidas como variedades vegetales; también estableció que las plantas son una composición de materia, lo que las hace patentables en caso de que dicha materia haya sido modificada por el hombre. Como se puede ver, esto ha resultado muy beneficioso para el rumbo que ha ido tomando la agricultura, orientado hacia un uso cada vez mayor de biotecnología (New Atlantis, 2008; Schimmelpfennig, 2004; Sechley, 2002; Janis, 2002).

A raíz de lo anterior, emergieron dos líneas de pensamiento sobre las patentes de organismos vivos. Por un lado, el área legal comenzaba a hacerse a la idea del crecimiento de la nueva industria biotecnológica. Las leyes estadounidenses comenzaron a permitir patentar los organismos vivos, para proteger las investigaciones en la creciente industria biotecnológica. Sin embargo, en otras partes del mundo se discuten los dilemas prácticos y morales de patentar organismos vivos como tales. Por ello, la legislación europea sobre las patentes de organismos vivos es más restrictiva. La Convención Europea de Patentes en su artículo 53 (b) prohíbe las patentes de ciertos tipos de biotecnologías: las patentes europeas no serán otorgadas respecto a variedades animales o vegetales o procesos esencialmente biológicos para la producción de plantas o animales; esta salvedad no aplica para procesos microbiológicos o sus productos. Es decir, estos últimos sí son patentables (Kuanpoth, 2003).

Aun con las diferencias entre los enfoques estadounidense y europeo, hay un juego de obligaciones mínimas que comparten todos los países y que constituyen el terreno legal común de las leyes de patentes a nivel internacional. Existe un acuerdo, llamado TRIPS por sus siglas en inglés (Acuerdo de los aspectos relacionados con el comercio de los derechos de propiedad intelectual) que establece desde 1995 que los signatarios de la WTO aceptan e incorporan en su legislación un grupo de estándares mínimos respecto a los instrumentos de las patentes, 'copyright' y derechos de propiedad intelectual. El TRIPS le otorga libertad a una nación para adoptar leyes de patentes adicionales a nivel doméstico y superiores a los acuerdos mínimos adoptados por la WTO. De acuerdo con el TRIPS, los miembros se comprometen a otorgar

protección de propiedad intelectual en varias áreas. El TRIPS estipula que “las patentes deben estar disponibles para cualquier invento, ya sean productos o procesos, en el campo de la tecnología; ésto siempre y cuando sea nuevo, involucre un componente inventivo y sea capaz de ser aplicado industrialmente”. Hay una serie de exclusiones marcadas en el TRIPS: puede rechazarse una solicitud de patente por razones morales, por ejemplo, o por tratarse de métodos de diagnóstico, tratamiento o cirugía para el tratamiento de humanos u otros animales. Además, el artículo 27.3 (b) permite a los Estados miembros excluir plantas y animales (que no sean microorganismos) de la protección de patentes. Lo mismo aplica para procesos biológicos para la producción de plantas y animales que no sean procesos no biológicos o microbiológicos. Los países, sin embargo, deben brindar protección para las variedades vegetales, ya sea por patentes, por mecanismos propios o por una combinación de ambas, como lo describimos arriba al hablar de UPOV. Sin embargo, esta provisión aún está en revisión dentro del Consejo del TRIPS. Las exclusiones mencionadas son opcionales y varían según el país (Kuanpoth, 2003; Schimmelpfennig, 2004; Sechley, 2002).

En 1998, el otorgamiento de otra patente generó también controversia. El 3 de marzo de ese año, el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos y una corporación agrícola, Delta and Pine Land, recibieron en conjunto un derecho de patente denominado “Tecnología Terminator”. Esta tecnología, comúnmente conocida como de las “semillas suicidas”, despertó la indignación pública debido a que son estériles y obligan al agricultor a adquirir a una corporación semillas año con año. La condena sobre esta patente se basaba en que mostraba que la biotecnología comercial no estaba realmente destinada a cumplir con una de sus promesas más atractivas, la de ayudar a resolver las necesidades alimenticias y otorgar seguridad alimentaria a los países en desarrollo, sino que tenía como objetivo primordial maximizar los beneficios comerciales de las grandes compañías trasnacionales (Gopo y Kameri-Mbote, 2003).

El número de patentes de biotecnología agrícola otorgadas en Estados Unidos creció exponencialmente entre 1990 y 2001. Este aumento no sólo se debe a la permisividad cada vez mayor de la Oficina de Patentes y Marcas de dicho país, sino que también está relacionado con el hecho de que en esta década cambió de forma significativa el desarrollo de tecnologías agrícolas hacia un enfoque más dependiente de la tecnociencia, con mayor inclusión de técnicas biotecnológicas y de ingeniería genética (Schimmelpfennig, 2004).

BIOTECNOLOGÍA Y SISTEMA DE PATENTES

La dinámica y hasta cierto punto inestable situación económica actual se debe, en parte, al aumento de nuevo capital del mercado global que debe ser reinvertido en nuevas empresas e ideas; esto es, al imperativo de la innovación tecnológica, que se ha convertido en el motor único de la valorización o crecimiento de los capitales mundiales. Por ello, y no sólo por afanes e ímpetus epistémicos, durante la segunda mitad de la década de los noventa, la ciencia y la tecnología se convirtieron en objetivos fundamentales de la inversión de capital, generando nuevas empresas tecnocientíficas. Esta nueva economía valoraba las empresas en función de sus ideas y de su éxito potencial en el mercado, es decir, de su posibilidad de dar lugar a productos rentables, en lugar de enfocarse en los productos que ya producía anteriormente: el potencial económico de las ideas comenzaba a ser prioritario. Las nuevas aplicaciones de la ciencia como la biotecnología, las ciencias de la computación o la nanotecnología prometían gigantescos rendimientos globales (con una nueva única y uniforme economía mundial capitalista, tras la caída del muro de Berlín) sobre el capital invertido, porque mucho de éste fluía de compañías que creaban desde productos convencionales hasta alta tecnología. Dentro de este marco, podría decirse que la biotecnología es producto directo de la nueva cultura corporativa del capitalismo tardío, y en especial del estadounidense, al menos en lo que respecta a su estructura y funcionamiento actual (Kellenberger, 2004; Kornberg, 2001; Gopo y Kameri-Mbote, 2003).

Muchos científicos, particularmente en las ciencias de la vida, se enfrentaron o descubrieron (como un aliciente) un aumentado y repentino interés económico en su trabajo, y al mismo tiempo, contaron con la posibilidad de unirse a dicha cultura corporativa como nunca antes había sido posible, o siquiera significativo para ellos, pues los recursos para la investigación empezaron a fluir no sólo hacia los centros industriales, sino hacia las universidades, privadas o públicas. Al cobrar importancia el potencial económico de las ideas que pudieran dar lugar a nuevos productos lucrativos, comenzó también a cobrar fuerza el que una compañía estuviera asociada a un grupo científico interdisciplinario encargado de producir dichas ideas, es decir, a una nueva forma de producción del conocimiento tecnocientífico. La industria comenzó a enfocar sus intereses y también sus inversiones en la ciencia y en reclutar a los mejores científicos de todo el mundo, de donde sea que vinieran (para el caso de los países

en desarrollo, por cierto, ésto representa una enorme fuga, pues la inversión en formar a estos científicos se traslada gratis a los centros de producción tecnocientífica, controlados por las grandes corporaciones tecnocientíficas). Fue mucho más fácil para estos científicos, durante los primeros días de esta nueva economía, obtener dinero de inversionistas privados, en comparación con lo complicado que resultaba pedir dinero público. Esto no fue únicamente beneficioso; muchos gobiernos, presionados por las tendencias conservadoras en la economía mundial para reducir sus intervenciones regulatorias y favorecer la industria privada, comenzaron a encauzar con más frecuencia a los científicos para que obtuvieran patrocinios privados. El problema de este nuevo modo de producción tecnocientífica es que, a largo plazo, la creatividad y la innovación provienen de investigación básica, juzgada principalmente por pares y respaldada por el público, y no por el mercado o la expectativa de grandes rendimientos económicos. En países como el nuestro, esta investigación se realiza principalmente en universidades públicas, financiadas por el gobierno; sin embargo, sus resultados y productos finales son transferidos al sector privado, que se aprovecha de su esfuerzo y del capital público obteniendo los beneficios que nunca llegan al público en general (que debería ser su destinatario) (Kellenberger, 2004).

Un ejemplo clásico de la participación de la industria privada en las investigaciones biotecnológicas es el referente al mapeo del genoma humano, que era inicialmente un proyecto público multinacional. Este proyecto fue retomado a ocho años de su comienzo por el sector privado en 1998. Para el 2000, dicho sector se le había adelantado al gobierno de EE.UU., terminando el Proyecto Genoma Humano antes que el equipo público y con costos menores. Lo mismo pasa con la biotecnología agrícola: es cada día más un producto del sistema económico y corporativo estadounidense y no de las investigaciones financiadas con los fondos públicos (Gopo y Kameri-Mbote, 2003).

Al ser un producto del sistema estadounidense, la biotecnología agrícola, así como también comenzó a serlo la investigación científica en otros ámbitos, es ahora un objetivo prioritario del mercado mundial, regido principalmente por los intereses de las multinacionales de los EE.UU. Dicho mercado tiene como característica principal el favorecer el surgimiento y dominio de grandes compañías, cuyos sistemas de producción permiten la obtención de grandes cantidades de productos a bajos costos y con altos rendimientos y que van eliminando de la competencia a las empresas pequeñas o públicas. Se trata de un sistema económico de capitalismo monopólico mundial que favorece y protege la concentración transnacional de la

innovación, la producción y las ganancias, lo cual implica además que estos grandes monopolios concentran mucho poder político para influir en los gobiernos y agencias de regulación para favorecer a sus intereses particulares. Siguiendo este modelo, en décadas recientes surgieron diversas compañías biotecnológicas dedicadas a la obtención y desarrollo de productos derivados de la aplicación de técnicas de ADN recombinante que, o bien crecieron por sí mismas, o fueron incorporadas o adquiridas por otras grandes compañías, por ejemplo, las farmacéuticas (Kornberg, 2001).

Al proceso de incorporación de la biotecnología al sistema de grandes corporativos le correspondió una consiguiente incorporación, inevitable al parecer, al sistema de control de innovaciones de las corporaciones: las patentes. La tecnología de organismos genéticamente modificados fue uno de los objetivos principales de estas corporaciones para generar un nuevo sector industrial que incrementara sus ganancias, al combinarse con los sectores de la agroquímica y de los fármacos.

Hay quienes piensan que debe reconocerse que la propiedad privada temporal de propiedad intelectual biológica ha sido de gran impulso para la investigación biotecnológica: la habilidad de patentar y obtener ganancias a partir de la vida genéticamente modificada ha ayudado a atraer talento y recursos que han resultado en innovaciones tecnológicas, como son medicamentos y tratamientos en el área del cuidado de la salud. Sin embargo, el poder patentar los productos biotecnológicos vivos los convierte en mercancías sujetas a ser comercializadas en un mercado; ésto hace que se tenga en cuenta únicamente su valor económico, con el supuesto de que los valores no económicos están incluidos dentro del precio que las personas estamos dispuestas a pagar por ellos. Esta teoría económica reduccionista – que todos los valores asociados con la propiedad pueden contenerse en un precio – encaja bien (es la otra cara de la moneda) con el reduccionismo de la ingeniería genética, al que dediqué el capítulo anterior y representa, al mismo tiempo, un preocupante complemento comercial y legal a dicho reduccionismo: la creencia de que lo que más importa de la vida es el material bioquímico y los mecanismos que subyacen en su producción. Resistir las implicaciones de ese reduccionismo y de la idea de que todas las preocupaciones que podríamos tener sobre cuestiones de valores serán resueltas por el sistema de precios establecido en el mercado, es un gran reto, aún cuando nos beneficiemos de la investigación que favorece (New Atlantis, 2008; Fielder, 1997)

ALGUNOS PROBLEMAS RELACIONADOS CON EL SISTEMA DE PATENTES

El sistema de patentes ha sido criticado en ocasiones por ejercer presión sobre la gente detrás del proceso de I+D, cuyo trabajo y la calidad de éste se mide a partir de a cuántas patentes ha dado lugar; incluso, éste es el indicador de desarrollo científico y tecnológico de varios países. Un país tiene un mayor desarrollo científico y tecnológico conforme el número de patentes que se generan en él. El problema existente en relación con este modelo de indicadores es que hay investigación científica que no da lugar a productos patentables (Schimmelpfennig, 2004).

Lo anterior tiene como punto de partida la década de los noventa, cuando, como mencionamos arriba, el tema de los rendimientos comenzó a ser prioritario para la ciencia básica. Esto ocurrió primero mediante la intensificación de la cooperación entre la academia y la industria privada y, posteriormente, cuando la investigación comenzó a ser llevada a cabo también por la industria privada, quienes buscaban patentar sus descubrimientos científicos para proteger sus invenciones. Hoy en día, las instituciones académicas solicitan patentes tratando de obtener dinero para su costosa investigación. Este proceso de comercialización de la investigación básica requiere de un cuidadoso análisis de motivos. Un problema es que las patentes pueden cambiar la distribución de los fondos de investigación de acuerdo con lo que se considere lucrativo. Si lo que motiva y determina qué tipo de investigación se lleva a cabo es algo comercial, la búsqueda de respuestas no lucrativas podría detenerse. Puede generar conflicto con otros importantes valores, como la justicia, por ejemplo: fomenta sentimientos de injusticia entre los investigadores, porque muchos de los que contribuyen a la investigación que da lugar a una patente no son recompensados; hay que tomar en cuenta, también, que muchas de las patentes son comúnmente basadas en investigación desarrollada a partir de presupuesto público, y benefician solamente a algunos de los involucrados. Finalmente, se trastocan otros valores como la apertura científica y el acceso a los resultados de la investigación, ya que los intentos por obtener patentes generalmente impiden la inmediata publicación de los resultados científicos, y si la patente otorgada es amplia, el descubrimiento no puede ser usado para posteriores investigaciones por un tiempo considerable. Este tipo de problemas se hacen evidentes al escuchar la opinión de los mismos científicos; por ejemplo, en una encuesta de más de 2100 científicos especializados en las ciencias de la vida sobre la que trabajan Willison y MacLeod (2002), el 20% reportaron retrasos en la publicación de 6 o más meses debido a una o

más de las siguientes: permitir la solicitud de patente o dar tiempo para sus negociaciones, proteger la prioridad, ralentizar la diseminación de resultados indeseados o resolver disputas sobre propiedad intelectual. Los emparejamientos de academia e industria y la comercialización de la investigación universitaria fueron asociados significativamente con estos retrasos (Hoedemaekers, 2001).

Las ventajas del sistema de patentes podrían resumirse con el simple enunciado de que demasiadas personas o grupos de investigación tienen al menos la posibilidad de obtener patentes que afectan la habilidad de los científicos de hacer investigación, y que el monopolio obtenido por el dueño de la patente es absoluto (Murashige, 2002). Esto último, que se le otorgue al inventor un monopolio, es para algunos cuestionable *per se*, ya que es una forma en que el inventor y sus inversionistas pueden obtener grandes ganancias. Para los países en desarrollo, donde muchas veces no se cuenta siquiera con la infraestructura burocrática que permita mantener un sistema funcional de protección de la propiedad intelectual, ésto constituye una desventaja permanente. Así, es prácticamente imposible competir en innovación tecnológica. Además, sus ciudadanos en una gran mayoría de los casos no tienen la posibilidad de pagar los precios inflados por las condiciones monopólicas que tienen muchos productos surgidos de las innovaciones, ya que los poseedores de las patentes fijan el precio internacional en el nivel de "lo que el mercado permita" y ello excluye a todos aquellos que no tengan el poder adquisitivo necesario para solventar dicho gasto. Esto hace que sea imposible para aquellos en países en desarrollo, con salarios que son apenas una fracción de los pagados en países desarrollados, adquirir las más recientes innovaciones. Sin embargo, hay que resaltar que como estos monopolios existen por periodos limitados, cuando éstos terminan entra en juego la libre competencia, que asegura precios más justos, o al menos que reflejan mejor los costos reales de materiales, producción y distribución. Cuando las patentes expiran, otros pueden entrar en juego y crear productos genéricos basados en el que estaba patentado, lo cual, en principio, debería reducir el costo del producto considerablemente. Además, aun si no existiese la protección del monopolio, el precio de libre competencia de los productos seguiría excediendo la capacidad adquisitiva de gran parte del mundo en desarrollo. Es decir, el problema abarca mucho más de lo que podría resolverse si las patentes no elevaran los costos de las innovaciones; está directamente relacionado con el sistema económico de capitalismo regulado, que no distribuye los beneficios de manera igualitaria entre todos los ciudadanos (Spier, 2005; Schimmelpfennig, 2004; Hoedemaekers, 2001).

Existe un problema adicional: hay algunos desarrollos cuyas patentes son éticamente cuestionables. El caso paradigmático de ello es el que involucra la creación de organismos vivos novedosos, dentro de los cuales se encuentran los organismos genéticamente modificados.

CRÍTICAS A LA CONCESIÓN DE PATENTES A LOS OGMSS

El proceso de obtención de patentes para seres vivos fue criticado desde sus inicios, y en algunos países aún es cuestionado. Esta controversia gira alrededor de la posibilidad de patentar semillas y cultivos GMs, porque, a diferencia de los animales GMs, son más difíciles de contener y mantener monitoreados; además, porque representan una industria monopolizada de la que las compañías trasnacionales buscan formar parte de manera cada vez más exclusiva; ésto, obviamente, porque de esta industria depende cada vez más la producción mundial de alimentos.

En el caso particular de México, según informa Greenpeace: [...] se otorgan patentes sobre genes, procesos de modificación genética, semillas y hasta plantas completas a distintas corporaciones. Estos cambios drásticos a la ley de convencional de patentes, les quita a los agricultores y campesinos el derecho de guardar las semillas de su propia cosecha para replantarlas después, amenazando sus tradiciones y medios de subsistencia. El sistema de patentes permite la apropiación exclusiva sobre ciertas formas de vida, dándoles a las corporaciones que las detentan, el control casi total sobre aquellos que compran semillas transgénicas. Mediante la firma de un contrato, las corporaciones fuerzan a los productores a comprar nuevas semillas cada año, prohibiéndoles separar parte de su cosecha para la siguiente siembra [...] La Ley de la Propiedad Industrial otorga derechos a las corporaciones propietarias de biopatentes para demandar por daños y perjuicios a cualquier productor que use esa tecnología sin permiso, por ejemplo: guardar semillas después de la cosecha y plantarlas o venderlas en el siguiente ciclo agrícola, aun después de pagar la cuota para la licencia y las regalías (www.greenpeace.org.mx, 2008).

El uso de patentes por parte de compañías agronómicas con el propósito de generar un monopolio alrededor de la investigación, desarrollo y comercialización de cultivos GMs novedosos, como Greenpeace describe en el párrafo anterior, tiene consecuencias socioeconómicas regresivas y una serie de impactos potenciales, ambientales y sociales que

describiré a continuación.

Un problema inicial es que el sistema de patentes fue diseñado para invenciones mecánicas, y aún cuando los inventos en otros campos tecnológicos han sido fácilmente asimilados por dicho sistema, la biotecnología no ha tenido una incorporación exenta de problemas sustanciales y objeciones éticas y técnicas de fondo. Ello se debe a la dificultad de reconciliar los requisitos de definición exacta del invento y reproducibilidad de éste, esenciales para una patente, con lo poco predecibles y complejos que son los sistemas biológicos. Los bioartefactos de la ingeniería genética, los OGMs, no son artefactos controlados y monitoreados cabalmente por sus diseñadores y fabricantes. Por ejemplo, en las invenciones tradicionales los detalles sobre el producto a patentar son entregados mediante una descripción escrita que permitiría a otros reproducir el producto o proceso; sin embargo, este recurso podría ser insuficiente para describir una invención biotecnológica en que la materia viva (con sus procesos complejos e indeterminables) juega un papel esencial, tal que otros pudieran reproducirla posteriormente (Fritze, 2001).

Las patentes sobre OGMs y los precios, en ocasiones elevados, de las semillas, afectan a los pequeños productores y campesinos cuyas prácticas no son masivas e industrializadas, por ejemplo, en países agrícolas en desarrollo. Además, debe tomarse en cuenta como un factor decisivo en la preservación de la biodiversidad de los cultivos, que los pequeños productores intercambian semillas y experimentan con cruza en escalas más reducidas y controladas, pues muchos de ellos producen para el autoconsumo o el consumo local. Actualmente, unas cuantas compañías transnacionales son dueñas de la mayoría de las patentes de varias plantas GMs, lo que significa que, si el mercado queda totalmente controlado por esas corporaciones, los campesinos deberán comprarles sus semillas, a los precios que estas compañías establezcan. En Estados Unidos, por ejemplo, los campesinos que se resisten a este sistema y adquieren sus semillas de cooperativas encuentran que sus opciones se limitan cada vez más. Esto se debe a que las grandes compañías de semillas han adquirido las compañías de muchos de los productores independientes, incapaces de competir con sus procesos, costos y tiempos de producción. Además, para conseguir los agroquímicos producidos por estas mismas compañías a un precio decente, hay ocasiones en que los campesinos se ven obligados a comprar la semilla modificada en función de dicho agroquímico, sea el rasgo GM de dicha semilla de utilidad para ellos o no. Si estos son los problemas a los que se enfrentan los productores agrícolas en países desarrollados, en países en desarrollo la situación es peor, considerando factores como menores

subsidios y apoyos económicos y menor información y asistencia técnica sobre el significado de las semillas GMs que se están adquiriendo, además de la nula protección legal de sus gobiernos. En estos países, los campesinos frecuentemente no saben qué están comprando y se apoyan en representantes locales que promueven las últimas (y más caras) semillas que, en la mayoría de las ocasiones, ni siquiera han sido evaluadas en función de estas nuevas áreas de introducción (recordemos que la tecnología de transgénicos se desarrolló en respuesta a las condiciones de los campos estadounidenses, que difieren a las de los campos en otros lugares del mundo). Se ha sabido de varios casos en los que estos representantes han sido sobornados por parte de las grandes compañías productoras de semillas; por lo que evidentemente, sesgan sus recomendaciones a favor de tecnologías caras e inútiles para el productor (de Melo-Martín, 2008; Carter, 2004; Schubert, 2009; www.greenpeace.org.mx, 2008).

Por supuesto, existe también el problema de las demandas legales por parte de las compañías transnacionales a los productores cuyos campos se ven contaminados por cultivos GMs cercanos. Si dichas compañías detectan presencia de sus OGMs en el campo de productores que no adquirieron la semilla, pueden proceder legalmente por considerarse esto una violación a sus patentes. Por ello, la compra de la semilla GM en ocasiones se hace a manera de mecanismo de defensa por parte de los productores, ya que saben que pueden ser confrontados con demandas por parte de dichas compañías si sus cultivos no GMs se contaminan con polen de campos GMs vecinos. Estas demandas difícilmente son ganadas por los pequeños productores; los procesos legales son caros y agotadores y pocos productores no industrializados (e incluso los industrializados) cuentan con los recursos para llevarlos a término. Aún cuando lo hicieran, las probabilidades de que ganaran la demanda son pocas. Burrell y Hubicki (2005) reportan que en Estados Unidos, para que un agricultor pueda defenderse argumentando “posesión inocente” del OGM patentado, tendría que ser capaz de demostrar que la presencia de dicho OGM fue accidental y no bienvenida, y que tomó cartas en el asunto para deshacerse de dicho cultivo intruso rápidamente. Esto hace que parte del peso de la responsabilidad de controlar esta contaminación accidental se transfiera a los campesinos que no cultivan GM, exigiéndoles monitorear lo que pasa en sus tierras y remover las variedades GMs que entren a ellas accidentalmente. Resulta evidente que muchos agricultores que operan a una escala pequeña no tienen las posibilidades para realizar dicho monitoreo, y que pueden involucrarse en problemas legales.

Los litigios sobre las patentes no son exclusivos del sector agrícola, una vez ejercida la

patente; ha habido varios casos en los que éstos alcanzan también a las compañías biotecnológicas independientes a las grandes transnacionales. Los prolongados litigios que involucraron a varios de los productos y procesos biotecnológicos desarrollados en la segunda mitad del siglo XX fueron debilitadores y desmoralizadores. Los procesos legales son costosos y largos, y terminan por agotar los limitados recursos de pequeñas compañías y, todavía peor, los desvían de sus misiones centrales de investigación y desarrollo. El tiempo y la atención del personal científico y de los directores se enfocan en maniobras legales, declaraciones y procedimientos en la corte. La búsqueda de conocimiento, de innovaciones y de temas sobre el bienestar humano son las víctimas, porque se vuelven secundarios para la misma supervivencia de las compañías que deberían enfocarse a esto, cuya subsistencia depende de los resultados legales (Kornberg, 2001).

La ingeniería genética ha amenazado los secretos tradicionales de producción de las mejores variedades y el riesgo de deriva génica ha hecho que sea difícil para los campesinos vender sus productos. La fuerte competencia entre los campesinos que producen a pequeña escala y la agricultura industrializada que ha resultado en una pérdida de mercados y de control sobre las variedades a las que se enfocaban los primeros ha generado molestia en países en desarrollo que se consideran ricos en biodiversidad y recursos genéticos. Los recursos genéticos de cada país son propiedad de cada nación; los campesinos deberían tener acceso a los recursos genéticos propios del país al que pertenecen para asegurar una buena productividad y la posibilidad de elegir las mejores variedades para su seguridad alimentaria o para lograr una agricultura sustentable; al mismo tiempo, deberían tener el derecho de producir sus propias variedades (Bhardwaj, 2006). Sin embargo, con mayor frecuencia, como se describió arriba, la entrada de grandes compañías ha impedido que esto se lleve a cabo.

Lo dicho en el párrafo anterior está directamente relacionado con una peculiaridad del sistema de patentes, que es el del alcance que se otorga con una patente determinada. Hay patentes específicas, y hay otras que se consideran amplias por abarcar un espectro amplio de protección. Por lo general, al solicitar una patente, se trata de buscar que ésta sea lo más amplia posible; al momento de otorgarse la patente probablemente tenga un menor alcance del que se buscó en un principio, pero se procura que abarque lo más que se pueda. El equipo que creó el OncoMouse, por ejemplo, registró en 1988 una patente con 12 derechos, de los cuales sólo uno concierne propiamente al ratón modificado. Las primeras, por ejemplo, piden derecho de explotación, por su invento, de todos los onco-mamíferos no humanos transgénicos. La

patente se otorgó aún cuando en ese momento no existían pruebas de que su método fuera capaz de dar lugar a ningún otro oncomamífero salvo el ratón. Hay un tipo de patentes amplias, llamadas “patentes de producto”, que cuando se solicitan para OGMs otorgan derechos no sólo sobre el OGM como tal sino sobre su descendencia, aún cuando ésta no haya surgido a partir de procesos en un laboratorio sino por procesos reproductivos naturales. Este tipo de patentes tienen un claro impacto para los campesinos, ya que aquellos que cultiven semillas patentadas ya no contarán con la libertad de utilizar o vender las semillas que obtengan de sus cultivos, como lo hacían en el pasado (Radder, 2004).

Existe una creciente preocupación respecto a que la información genética, y el poder de utilizarla, se encuentre en el futuro en manos de un selecto grupo de compañías. Esta preocupación se extiende, desde luego, a los productos de las modificaciones relacionadas con dicha información, y en nuestro caso particular, a los OGMs. El tema de los alimentos GMs se ha vinculado con preocupaciones sobre el poder y la influencia de compañías multinacionales, especialmente las de las áreas químicas y biotecnológicas. También está el problema de quién se beneficia de estas nuevas tecnologías; claramente, este grupo incluye a las compañías transnacionales, que lucran con la venta de semillas. Las ventajas para el consumidor son, hoy en día, menos claras (no hay prácticamente ningún beneficio ni reducción de precios), y como consecuencia, el análisis de riesgo-beneficio tiene más peso del lado del riesgo, por más pequeño que este pueda llegar a ser (Rowland, 2002; de Melo-Martín, 2008; Carter, 2004).

Las semillas transgénicas, al estar sujetas a derechos de propiedad intelectual, pueden por ello ser utilizadas para ejercer control sobre sistemas y prácticas agrícolas. Esto es parte del núcleo de la controversia sobre la propiedad intelectual; no queda en ningún momento claro que sea éticamente correcto (y técnicamente viable) que los seres vivos sean material disponible para privatizar, aún cuando modificarlos haya generado un costo en I+D para una compañía: son bienes comunes que, el sentido común y las críticas asociadas a ellos nos aseguran, nunca debieron privatizarse. En todo caso, estas innovaciones deberían ser financiadas con recursos públicos por ser de interés común, y no sujetos a las leyes del mercado. Mucho menos los que están destinados a la alimentación; no sólo se ejerce propiedad sobre un bien común, sino que se obtiene con ello un monopolio con respecto a una de las necesidades más primordiales del ser humano (de Melo-Martín, 2008; Carter, 2004).

Otro aspecto muy preocupante es el del conflicto de intereses de un científico comprometido con roles empresariales o consultivos en compañías biotecnológicas. La

investigación académica se ha subordinado a los fines e intereses de las compañías, y una de las consecuencias más directas es la privatización del conocimiento científico vía las patentes. Indirectamente, la información científica no está ya a disposición de cualquiera y se restringe conforme a los criterios de seguridad industrial. Un segundo efecto que está cambiando la manera en que se desarrollan las investigaciones científicas en muchas universidades, privadas o públicas, es que los esfuerzos de investigación y las aplicaciones que se esperan realizar dependen cada vez más de los proyectos financiados por las empresas y de enfoques y fines que convienen a éstas para recuperar el capital invertido en el menor tiempo posible. Estos conflictos de intereses entre, por un lado, los fines epistémicos y principios éticos de la investigación científica, sobre todo en universidades públicas, y por otro, la subordinación de los objetivos, tiempos y resultados de estas investigaciones a los intereses comerciales de las compañías que financian la investigación o que comprarán los resultados y los patentarán, se manifiestan de manera principal en países desarrollados, donde el financiamiento proveniente del sector privado ya sobrepasa el del sector público en el ámbito académico. El que financia una investigación puede determinar las prioridades, objetivos y tiempos de la misma, así como el acceso a los productos de la investigación, incluidos los datos científicos más básicos.

Por ello, se ha generado una competencia entre el sector público y el privado para dirigir y orientar el rumbo de las investigaciones tecnocientíficas, determinando cuáles son las prioridades y estándares de bioseguridad. Dichas prioridades están impulsadas por el mercado y por el "costo de oportunidad" para generar ganancias con cada producto biotecnológico, y no necesariamente por el propósito de mejorar las condiciones de vida de los seres humanos (Kornberg, 2001; Bhardwaj, 2006).

En el punto de encuentro del tema del conflicto de intereses y el de las preocupaciones sobre los posibles riesgos que presentan los transgénicos, encontramos que los que poseen las patentes son los únicos que realmente podrían hacer un análisis de riesgos completo y adecuado sobre este tipo de tecnologías, pues son ellos los únicos que tienen la información completa. Sin embargo, la pregunta es ¿hasta dónde se puede hacer un monitoreo completo, sistémico, en estas condiciones? Existen complejas relaciones económicas que bloquean los monitoreos y que hacen imposible saber y conocer las consecuencias; en principio, es fácil que los interesados controlen el nivel de profundidad de dichos monitoreos, que son realizados, además, sin participación pública, para ajustarse a sus intereses. En otras palabras, si una compañía requiere un monitoreo superficial que no arroje resultados negativos (es decir,

perjudiciales para sus intereses económicos), es fácil obtenerlo, dado que son ellas las responsables de que estos monitoreos ocurran y de brindar la información necesaria para que esto suceda.

Álvarez-Bullya y Piñeyro resumen claramente la problemática del conflicto de intereses: “La lógica del interés privado también entra en contradicción con la búsqueda de explicaciones y soluciones de problemáticas sociales o ambientales reales, y con una perspectiva de sustentabilidad real o de beneficio público. Más bien, responden primordialmente a intereses privados y a un afán de lucro, que se consideran válidos en sí mismos en los marcos éticos imperantes. Ciertamente, dichos desarrollos tecnocientíficos constituyen opciones tecnológicas porque durante plazos restringidos pueden ser útiles y, por lo tanto, en ese periodo se utilizan como instrumentos de acumulación de ganancias importantes, por lo que logran insertarse en los mercados. Sin embargo, dada la lógica misma con la cual son generados, pueden tener consecuencias negativas para la sociedad y el ambiente. Dichas consecuencias dependerán de una sobreposición de peligros, incertidumbres y riesgos contexto-dependientes. Estos, en ocasiones, pueden tener efectos nocivos, potencialmente irreversibles, con consecuencias sociales y ambientales devastadoras, y con grandes alcances espacio-temporales” (Álvarez-Bullya y Piñeyro, 2008).

Por consiguiente, nos preguntamos si acaso la controversia sobre los transgénicos realmente está justificada o está tan motivado el uso de esta tecnociencia por intereses económicos que se mantiene viva para permitir su desarrollo, aún sabiendo que los riesgos superan a los beneficios (al menos en este punto de desarrollo tecnológico). Esto se discutirá más a fondo en el capítulo final, correspondiente a la discusión sobre las tres controversias, su relación y sobre qué tanto constituyen una controversia o no.

CAPÍTULO 5

CONTROVERSIA SOBRE LOS SISTEMAS DE DESARROLLO SOCIOECONÓMICO

En el marco de la controversia tecnocientífica general sobre riesgos y beneficios del uso y comercialización de transgénicos hay otro aspecto específico de sumo interés para este trabajo: los riesgos y beneficios de dicha tecnología para los países en desarrollo. Este está ligado, como adelanté en capítulos anteriores, con los sistemas de producción de alimentos que predominan actualmente en la economía globalizada.

En los países en desarrollo, la población sigue creciendo y con ello la necesidad de alimentos; al mismo tiempo, aumenta la población urbana y disminuye la población rural que produce el alimento para la población urbana. En un estudio de la OMS (*Causes of Under-Five Mortality*, Source: EIP/WHO, www.who.int) se ha demostrado que el 60% de las muertes está asociado a la desnutrición. Una pregunta subyacente es si lo anterior está asociado a la falta de alimentos, a un problema de distribución de estos o a ambos (OPS, 2003).

Los cultivos genéticamente modificados se han propuesto como una solución posible al tema de la necesidad de más y mejores alimentos debido a que se busca que presenten un sabor y calidad mejorados, así como un tiempo de maduración reducido. El objetivo principal de dichos cultivos, sin embargo, es lograr mejorar su contenido nutricional (generando variedades con mayor contenido de vitaminas o minerales), otorgar tolerancia al estrés, además de brindarle a los cultivos GMs un aumento de resistencia a factores bióticos, como enfermedades, plagas y herbicidas. Entre otras resistencias están las que puede conferirseles hacia los factores abióticos de estrés, como sequías o exceso de agua, salinidad o temperaturas extremas (HGPI, 2003; Taşkin, 2006). Las variedades con mayor valor nutricional resultarían especialmente valiosas en los países en desarrollo, donde millones de personas sufren carencias alimenticias. No obstante, este tipo de cultivos también sería atractivo para los países industrializados, porque permitiría reducir el consumo de grasas y almidones poco saludables, además de que podría eliminarse también la presencia de ciertos alérgenos en cultivos como el arroz. Los OGMs con mayor valor nutricional podrían beneficiar no sólo a los seres humanos sino también a otros animales, pues podría producirse forraje y grano con un mayor valor nutricional. Los cultivos GMs podrían contribuir a aumentar el rendimiento de los alimentos, ya que se piensa que si la composición de aminoácidos del alimento del animal fuera igual a su propio balance de aminoácidos, entonces disminuiría la cantidad de alimento que se necesita para mantener al ganado y, en consecuencia, se reduciría la contaminación causada por los desechos de origen animal. Se ha examinado también la posibilidad de generar variedades mediante las cuales sería posible producir y suministrar vacunas y otras sustancias farmacéuticas, disminuyéndose así el

costo de éstas. Otro beneficio relacionado implica la modificación de los cultivos para producción de materia prima biodegradable no sólo para producir alimentos sino también plásticos, detergentes, papel y lubricantes (Feldmann, 2000; Taşkin, 2006).

El principal beneficio social de los OGMs es el de aumentar la producción alimenticia para poblaciones en crecimiento (HGPI, 2003). Hay quien argumenta que los países desarrollados producen demasiada comida excedente, por lo que podría decirse que este tipo de países no necesita aumentar su producción alimenticia. Sin embargo, este argumento omite el hecho de que reducir dichos excedentes sería casi tan dañino para la salud pública de los países en desarrollo como limitar directamente su propia producción de alimentos. Esto se debe a que, actualmente, las importaciones netas de cereales de los países en desarrollo exceden en un 10% a su producción. Los productos excedentes de los países desarrollados se envían a los países en desarrollo que sufren escasez alimenticia. Sin este movimiento, los recursos alimenticios en los países en desarrollo serían más bajos, los precios de la comida serían más altos, la desnutrición sería más elevada y los problemas de salud asociados con ésta, así como enfermedades y mortalidad prematura, serían mayores. Lo más probable es que el déficit alimenticio de los países en desarrollo sólo vaya aumentando con el tiempo, debido a las altas tasas de crecimiento poblacional. Por lo tanto, los excedentes alimenticios de los países desarrollados seguirán siendo tan importantes para la seguridad alimenticia de los países en desarrollo como lo son el día de hoy (Goklany, 2000). El tema del excedente alimenticio de los países en desarrollo se encuentra relacionado directamente con la creencia de que el uso de OGMs nos ayudará a lograr un aumento en la cantidad de alimento producido, sin necesitar un aumento proporcional de la tierra destinada a cultivos. Otro beneficio posible de los OGMs para los países en desarrollo es el del valor nutricional aumentado que se mencionó anteriormente, pero hasta la fecha no se ha hecho realidad (Goklany, 2000).

A pesar de que México posee una infraestructura productiva media, recursos naturales y una media de ingreso per cápita que lo ubica en el nivel de desarrollo "medio" (según los últimos informes del PNUD), nuestro país sigue estancado en cuanto a desarrollo humano. Por más que quisiéramos pensar que poco a poco hemos ido dejando atrás la categoría de "país en desarrollo", es imposible equiparnos con potencias mundiales de la talla de Estados Unidos o de China; en poco tiempo tampoco podremos compararnos con países latinoamericanos que han trabajado para obtener un mayor nivel de desarrollo, como Brasil.

Los países en desarrollo han sido, a menudo, víctimas de la ilusión de que pueden alcanzar el estándar que establecen las naciones desarrolladas, las cuales determinan una serie de lineamientos, procesos, indicadores, etc. de índole tecnológica y comercial. Países como el nuestro tratan de imitar su modelo de desarrollo convencional, poco sustentable y de crecimiento ilimitado, pero que genera desigualdad nacional e internacional. Como nuestras condiciones de vida, infraestructura productiva, capitales, créditos y regulaciones legales no son equivalentes, ese modelo de desarrollo resulta forzado y en ocasiones contraproducente. Lo que sí logra es acrecentar la desigualdad socioeconómica y la explotación no sustentable de los recursos naturales.

Un ejemplo claro de ello ocurre con las políticas de ciencia y tecnología de los países en desarrollo, pues tratan de copiar los modelos estadounidenses con indicadores de desarrollo, por ejemplo, patentes, de las que hablamos en el capítulo anterior; pero que, por las razones que ahí se expusieron, el sistema de patentes no necesariamente resulta benéfico para su desarrollo científico y tecnológico. Al menos no en cuanto a la producción de alimentos y de insumos biotecnológicos para la industria.

Otro ejemplo de una inadecuada imitación del modelo de desarrollo reside en los sistemas de producción de alimentos. Éste ha venido globalizándose cada vez más y se encuentra ahora en un punto que algunos ven como expansivo y de efectos negativos para los ecosistemas de los países menos desarrollados. Este sistema genera una creciente concentración del capital, la tecnología productiva, las patentes, la producción y la comercialización de productos, con un enorme costo ambiental. Ejemplo de estos vicios son una industrialización cada vez mayor, el fomento de grandes productoras de alimento que poco a poco van tomando el control de otras pequeñas, ya que estas no pueden competir, el uso de granos y semillas para producir biocombustibles o utilizarlos como biorreactores, y desde luego, el impulso que se le ha dado a los rendimientos económicos a corto plazo, a partir del uso intensivo de agroquímicos.

Podríamos decir que los vicios anteriores surgen con lo que Fonte (2002) identificaría como el cambio entre el modelo tradicional de consumo de alimentos y el modelo agro-industrial de consumo y producción de alimentos. El primero, según la autora, "está ligado a una sociedad de pobreza generalizada [...] es un sistema muy simple, basado en el auto consumo, donde predomina un actor: el productor-consumidor [...] el mercado está limitado a intercambios

locales. Las dietas están diferenciadas por niveles de ingresos, entre ricos y pobres. Las dietas de los pobres están caracterizadas por alimentos con valores nutricionales bajos, principalmente vegetales (cereales y tubérculos) [...] Además, la agricultura tradicional, constreñida por el territorio y vinculada a los ciclos naturales de las estaciones, conlleva un sentido de participación e identificación con la naturaleza. Las técnicas tradicionales vinculan de manera más estrecha a los seres humanos con la naturaleza." La emergencia del modelo agro-industrial, según la misma autora, ocurre "con un proceso de transición que duró muchos siglos, desde la edad media tardía hasta el siglo XX; condujo a la desaparición del autoconsumo y a la provisión de alimentos industrializados a través del mercado mundial. El mercado, un nuevo colectivo, entra en escena. El sistema de alimentos se vuelve más complejo y la red de actores relevantes se vuelve mayor. Mediante procesos de apropiación industrial y sustitución, el dominio de la agricultura es limitado; las actividades de transformación de los productos agrícolas son apropiadas por la industria, mientras que los productos y los productores son sujetos a procesos de sustitución: grasas vegetales por grasas animales, remolacha de azúcar por caña de azúcar, productores europeos por estadounidenses, productos agrícolas por industriales, etc." (Fonte, 2002).

Es en el marco del sistema de producción que Fonte describe (aun cuando ella lo llama "modelo") que se suscita este tercer aspecto controversial sobre el uso de transgénicos, especialmente en países en desarrollo.

PAÍSES EN DESARROLLO, PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS E INCORPORACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIALIZADOS

Muchos países en desarrollo todavía dependen en gran medida de la agricultura tradicional como medio principal de producción y, por lo tanto, se beneficiarían enormemente con la aplicación de tecnologías que pudieran aumentar la producción de alimentos, reducir los precios y mejorar su calidad.

La OPS (2003) afirma que "el gran reto es asegurar alimentos a la población sub-nutrida. Esto implica triplicar la producción de alimentos para el año 2050, utilizando menos áreas para cultivo y con menos cantidad de agua disponible". Reportes de esta organización señalan que las respuestas a estos retos serán distintas según la situación económica de cada país, pero que

son necesarias, además de lo mencionado arriba, una redistribución de la riqueza y una mejor distribución de los alimentos. Esto último constituye una crítica al argumento a favor del uso de OGMs en países en desarrollo que afirma que ayudarían a aliviar el hambre; se dice que los alimentos producidos globalmente son suficientes para sostener a toda la población mundial, pero no están bien distribuidos. Aunado a esto, muchos economistas resaltan que hoy en día parte importante del hambre crónica global resulta de ingresos económicos inadecuados de la población pobre, no de una producción global de alimentos insuficiente. Por lo mismo, deben instaurarse políticas gubernamentales apropiadas que mejoren la capacidad de campesinos de bajos recursos para cultivar alimentos; esto aumentaría sus ingresos además de aumentarse el suministro local de alimentos. Además de los efectos de la pobreza crónica, el hambre alrededor del mundo es resultado de la alteración del orden público por guerras civiles, gobiernos corruptos y otras formas de inestabilidad política. La FAO reconoce, además del factor político y el de la pobreza a otros, como la pandemia de SIDA, como las principales causas contribuyentes del hambre en los países en desarrollo. Además de estos dos factores, podemos contar la distribución desigual de riquezas dentro de y entre naciones, y una falta de infraestructura para distribuir los alimentos (refiriéndonos, por ejemplo, a caminos y comunicaciones deficientes, mercados insuficientes, incluso las malas condiciones que enfrentan los campesinos) como elementos cruciales que favorecen la carencia de alimentos y la mala nutrición (Fedoroff y Cohen, 1999; OPS, 2003; Carter, 2004; Delmer, 2005; de Melo-Martín, 2008). Por tanto, suponer que el problema del hambre en los países subdesarrollados sólo se resuelve con nuevos métodos que incrementen la producción es erróneo y, más bien, se trata de un objetivo sesgado por el interés agro-económico y no por fines "humanitaristas". Contribuye quizá más a paliar la carencia de alimentos el construir más y mejores caminos y medios de transporte, que el aumento indiscriminado de la producción.

Los factores sociales mencionados arriba no son la única diferencia relevante entre los países desarrollados y los países en desarrollo. Agronómicamente hablando, un agricultor industrializado estadounidense cultiva cientos de hectáreas con semillas adecuadas para sus condiciones, fertilizantes y pesticidas en cantidades suficientes, tecnología agrícola y condiciones ambientales, como lluvia, relativamente estables, además de subsidios federales para asegurar los precios. En países africanos, en cambio, el campesino promedio cultiva una hectárea, con más de un tipo de cultivo para asegurar que algo crecerá independientemente de la precipitación, y sin usar pesticidas ni fertilizantes, no por razones ecológicas sino por sus altos

costos. Por ello, rara vez un cultivo modificado genéticamente para las condiciones de los países desarrollados servirá para un país en desarrollo (Delmer, 2005).

Desde luego, hay más discrepancias. Un punto que hay que tomar en cuenta es que, a pesar de la intención de que se establezcan sistemas de desarrollo paralelos que imitan a los de los países desarrollados, no hay manera de que los países en desarrollo los adopten con los mismos subsidios y políticas proteccionistas de que disponen, por ejemplo, los agricultores en Estados Unidos, la UE o China. Esta particularidad del sistema de producción de alimentos ha sido extremadamente dañina para naciones como la nuestra, que poco a poco han perdido posibilidades de competir a nivel internacional. Parte de adoptar un sistema de desarrollo similar implica poder competir con el resto del mundo en el mercado, y eso no puede lograrse cuando los costos de producción mexicanos superan, por ejemplo, a los norteamericanos y el gobierno no puede sostener subsidios y apoyos técnicos en la misma cantidad que en los países desarrollados. No sólo somos incapaces de competir a nivel mundial en la mayoría de las ramas de alimentos, sino que los productos nacionales suelen ser más caros que los importados, ya que no contamos con los mismos subsidios gubernamentales para producción con los que cuentan nuestros socios comerciales del TLCAN, especialmente los EE.UU. Dicha desproporción ha generado una pérdida terrible del campo mexicano, tanto en ganancia como en producción y apoyos financieros, y un altísimo porcentaje de los productos que consumimos ya no son producidos en el país sino que los importamos. Como consecuencia de esto tenemos el empobrecimiento de un sector, que se enfrenta cada vez a dificultades mayores para subsistir en un mercado agrícola nacional tan poco competitivo. Sin embargo, existe un sector exportador agrícola en México, que creció a partir del TLC, especialmente en el centro y norte del país, consistente en compañías de mayor tamaño que exportan una gran parte de su producción (basada principalmente en cítricos, aguacate, frutas, etc.) a EE.UU. Esto ha marcado una extrema separación entre el sector exportador agrícola nacional y el resto de los pequeños productores. Son los primeros, los interesados en la liberalización de cultivos GMs, que ven la oportunidad de incrementar sus ganancias asociándose s las compañías transnacionales, sin advertir del riesgo ecológico que genera la técnica de monocultivo y el uso intensivo de agroquímicos y de OGMs (Tilman et al, 2002; Gereffi y Christian, 2008).

Volviendo a lo anterior, aun con los subsidios, sin embargo, en países desarrollados los agricultores también se encuentran atrapados en una lucha constante para mantener un

estándar de vida decente. Esta lucha parte de los constantes cambios que se dan en el material agrícola (semillas, fertilizantes, pesticidas, equipo, etc.), la forma en que se procesan los alimentos y los sectores de mercadotecnia. Por ejemplo, en materia de precios: el alto costo de los materiales y los precios bajos de las mercancías agrícolas como trigo, algodón y maíz han puesto a los campesinos en una situación complicada. Desde hace décadas, los precios de los principales cultivos como maíz y arroz habían bajado a causa de mejoras constantes en producción agrícola y comercio de lo obtenido a partir de esta producción. Sin embargo, en años recientes subieron de nuevo, a causa de factores como la producción de biocombustibles a partir de dichos cultivos básicos. Ya que los precios de los productos agrícolas aumentan y descienden de forma marcada mientras que el aumento y descenso de precios de los materiales no es correspondiente, se complica la situación para los campesinos, incluso dejando de lado el hecho de que el tamaño de las granjas ha ido aumentando constantemente, afectando a las comunidades rurales social y económicamente. Sin embargo, al menos en EE.UU., recientemente, las políticas agrícolas basadas en el mercado han resultado en grandes pagos a los campesinos para compensar la diferencia entre precios bajos de los productos y los costos de producción: de 1997 a 2006 los productores recibieron el 30% de sus ganancias netas por parte de pagos directos del gobierno. Estas ventajas no son compartidas por los países en desarrollo, pero sí los problemas: la fluctuación de costos de suministros y productos afecta por igual a los campesinos de todo el mundo (Magdoff y van Es, 2009; Jordan et al, 2007; Cassman, 2007).

Además de la falta de subsidios y sus consecuencias, podemos señalar la incorporación de transnacionales y capital extranjero al sistema de producción mexicano como otro de los principales problemas de la entrada forzada de México en el estilo de sistema de producción agroindustrial de los países desarrollados, aun cuando esto ha significado el fortalecimiento de una brecha entre la producción agroindustrial exportadora y la producción tradicional, y entre la pequeña escala y la incorporación de intermediarios especuladores.

Esta entrada, aunada a la incapacidad de competir por sí solos, genera en los países en desarrollo una dependencia aumentada de los campesinos a las grandes compañías. Esta dependencia va de la mano con otra más amplia, la de los países en desarrollo a los términos e intereses del mercado global. Los efectos que esta dependencia puede tener en las sociedades son preocupantes a nivel ético y político, debilita la capacidad de una nación para asegurar sus

propios sistemas de distribución de alimentos. De igual forma, no deben ignorarse las consecuencias sociales y económicas de los niveles crecientes de propiedad de los recursos alimenticios mundiales por parte de unas cuantas compañías. Los organismos internacionales deben promover que haya tecnologías propias de los países e impulsar evaluaciones imparciales de los productos, de las tecnologías y de los riesgos. Esto último rara vez se sigue. Generalmente hay poco desarrollo de tecnologías novedosas y adecuadas a las condiciones propias por parte de los países en desarrollo; al menos, no al nivel ni con la competitividad con la que dicho desarrollo se logra en países más industrializados. Alvarez-Bullya y Piñeyro lo argumentan, relacionándolo con lo anterior, de la siguiente forma: “En ocasiones el interés privado puede dominar por encima del empeño en comprender a fondo el sistema bajo estudio y el de actualizar, si es necesario, los paradigmas que sustentan técnicas exitosas para desarrollos incrementales” (OPS, 2003; de Melo-Martín, 2008; Álvarez-Buylla y Piñeyro, 2008).

El que la inclusión de países en desarrollo en los sistemas de producción diseñados para países desarrollados no sea apropiada no es ningún secreto. Incluso figuras clave del Banco Mundial han manifestado que las necesidades agrícolas e institucionales de los países desarrollados son muy distintas a las de los países en desarrollo. Por lo mismo, las respuestas de los países desarrollados no satisfarán automáticamente las necesidades de los pobres. En un país como México, es necesaria una tecnología de acceso general y justo para todos; no es válida una tecnología que desfavorece al productor más pequeño que no tiene acceso a tecnologías y a recursos que ponen a disposición las compañías que producen semillas modificadas. Esto significa que hay que desarrollar, entre otras cosas, un sistema internacional de propiedad intelectual que balancee los intereses de propiedad privada de los países ricos con las necesidades del bien público en los países pobres. De no hacerlo, seguirán generándose brechas sociales y un mayor descuido al campo, que solamente empeora en función de que la legislación actual (no sólo en materia de PI sino en todos los niveles) no protege al pequeño productor, sino que da un cuidado prioritario a las grandes compañías y sus intereses. (Fedoroff y Cohen, 1999)

Esto se relaciona con la irracionalidad de proponer a los OGMs como solución para los problemas de escasez de alimentos, en relación con los sistemas de desarrollo, de muchas formas distintas que se describirán más adelante. Sin embargo, es pertinente describir aquí una característica particular del modelo predominante que termina de ponernos en contexto para la

discusión posterior y que se relaciona con lo mencionado arriba sobre el interés prioritario que se les da a las grandes compañías. Hoy en día, las empresas de distribución y venta de alimentos han obtenido, a raíz de los intereses particulares de los países desarrollados, un poder sin precedentes. Estas exigen a los productores un ritmo y cantidad de producción que ningún productor pequeño puede sostener; los que han logrado dar el salto a la industrialización necesaria para sostener dicho ritmo pelean para lograr mantenerse a flote y obtener ganancias a pesar de la presión y la exigencia de las grandes cadenas (caso Walmart). Este tipo de cadenas se han convertido en los principales sitios para que la población obtenga sus alimentos y ello ha fomentado que los procesos de distribución adquieran un papel prominente, que incluye que puedan establecer las condiciones que les parezcan más convenientes. Esto impulsa un desarrollo tecnológico que responde a las demandas de estos grandes corporativos; dichas demandas son delimitadas por el consumismo y la mercadotecnia que permean las sociedades occidentales y por las necesidades reales de las poblaciones, especialmente de países en desarrollo, a quienes les cuesta especial trabajo sobrevivir en este sistema de sobreproducción y sobredemanda. Las fuerzas de producción de alimentos ya no están enfocadas en satisfacer las necesidades de las poblaciones locales, sino en competir en el proceso de importación/exportación con precios muy bajos y con las condiciones que determinan los grandes corporativos, que resultan ser generalmente abusivas e injustas. La agricultura, por ejemplo, no tiene ya vínculos directos con el consumidor; se ha convertido, más bien, en un sector económico que produce bienes para la industria alimenticia, y que tiene que adaptarse a las reglas de oferta y demanda que esta industria establece, vía las grandes transnacionales (Fonte, 2002; Roberts, 2009).

Por "caso Walmart" podemos entender el papel fundamental que juegan los grandes almacenes de comida, muchos de ellos transnacionales, en determinar la dirección de nuevos desarrollos de productos. En Estados Unidos, a principios de la década pasada, Walmart, junto con otras cuatro compañías, controlaba el 42% de las ventas de comida en ese país. Esta tendencia ha ido aumentando a nivel mundial. Este tipo de grandes cadenas comerciales se encuentran en posición de dictar los términos que desean para que los proveedores de productos surtan sus almacenes; si éstos son demasiado pequeños como para cubrir las cuotas que las transnacionales cobran, por ejemplo, por colocaciones de productos, o bien si no logran surtir los pedidos a la velocidad y en cantidades que estas tiendas establecen, dejan de calificar como proveedores. Esto deja fuera del juego a productores más pequeños y favorece a los que

generan a gran escala. El modelo Walmart ha tendido a propagarse y, en la mayoría de los casos, sin que el público esté enterado de sus procesos monopólicos e injustos de suministro de bienes.

Sin embargo, el carácter monopólico de las grandes cadenas de tiendas las ha convertido en objetivo principal del escrutinio y la crítica de ONGs y del público en general. Aun cuando los alimentos que contienen OGMs se distribuyen comúnmente en estos grandes almacenes, si éstos les generara problemas serios de opinión pública, surgidos a raíz de la presión de estas ONGs, es posible que optaran por dejar de distribuirlos, lo que significaría un fuerte golpe para los productores de OGMs. Si esto es bueno o malo para los países en desarrollo es algo que analizaremos en el apartado siguiente (Heffernan et al, 2001; Rommens, 2010; Gereffi y Christian, 2008).

OGMS Y PAÍSES EN DESARROLLO EN EL MARCO DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN

En lugares donde a menudo hay carencia de alimentos y donde los precios de éstos afectan directamente los ingresos de una gran parte de la población, no es fácil ignorar el potencial que tienen los OGMs para aumentar la productividad. El mismo argumento puede esgrimirse con relación al potencial de los OGMs para mejorar la calidad nutricional: quizás no se necesiten con urgencia alimentos con mayor valor nutricional en la mayoría de los países industrializados, donde la mayoría de los consumidores tienen la posibilidad de satisfacer sus requerimientos nutricionales, pero en muchos países en desarrollo esos alimentos podrían cumplir una función clave contribuyendo a aliviar la desnutrición. Esta es una de las razones por las que la discusión alrededor de su comercialización y producción sigue viva, aún cuando se cuenta con cada vez más evidencia de los riesgos que conllevan.

Respecto a los países en desarrollo, la opinión se encuentra dividida. Si bien es cierto que los posibles beneficios de los OGMs podrían ser grandes en los países en desarrollo, también lo son sus posibles desventajas. Aun cuando son los países que más podrían beneficiarse de un buen uso de los cultivos GMs, pesa fuertemente la opinión de que la introducción de semillas GMs a estos países amenazaría la subsistencia de los cultivos

convencionales, y ésto, además de constituir un problema biológico *per se*, arriesga también las exportaciones de alimentos a países que rechazan estas tecnologías. Como en los países en desarrollo se encuentran los centros de origen de muchos de los principales cultivos alimentarios del mundo, todo efecto negativo sobre la fauna y la flora silvestres podría tener repercusiones en la biodiversidad mundial. Además, la mayoría de estos países no cuentan con capacidad científica suficiente para evaluar la inocuidad de los OGMs ni la capacidad para implementar normas que rijan su distribución sin riesgos y, sistemas jurídicos adecuados para imponer sanciones y castigar las transgresiones de la ley (Feldmann, 2000; Schmidt, 2005).

Esto se deriva de que en los países en desarrollo hay legislación insuficiente, tanto en materia ambiental como en materia agrícola, económica y de PI. Además de estas carencias, el estatus de 'país en desarrollo' tiene más consecuencias, como la incapacidad de proteger el mercado y a los productores nacionales, y en su lugar, normalmente las políticas han sido definidas en función de los intereses de las transnacionales extranjeras. Claro ejemplo de ello son las relacionadas con el cultivo de OGMs (por ejemplo, en México, la Ley de Bioseguridad, en ocasiones re-bautizada irónicamente como "ley Monsanto") que además de permisivas dependen de instancias gubernamentales probablemente corruptibles, y en cuyos puestos de decisión se ubican personas que trabajaron para las compañías interesadas en la liberación de permisos. Por ello, y no sólo por los riesgos ambientales y biológicos, sino por las distorsiones e inequidades socio-políticas vuelve indeseable la aplicación de la revolución GM en países en desarrollo. En los EE.UU. ha sido más fácil su adopción, ya que la agroindustria monopólica controla el mercado desde la "revolución verde" y se apoya firmemente en la defensa absoluta de la propiedad privada y de las patentes a las modificaciones genéticas o a los químicos que permiten el uso eficaz de los OGMs (Schmitz, 2004).

La discusión radica no sólo en que existen grandes diferencias en materia legislativa entre los países para los que las semillas GMs fueron diseñadas; también se mantiene debido a que estas diferencias son sumamente marcadas también en el mismo proceso agrícola. Los países en desarrollo, por ejemplo, tienen más agricultores a pequeña escala, una interdependencia diferente entre cultura y prácticas agrícolas y una serie de problemas externos relacionados con el medio en que estas prácticas se realizan que incluyen, por ejemplo, una alta acidez de las tierras arables. La biotecnología disponible para estos países debería atender este tipo de problemas utilizando cultivos locales modificados para responder a ellos y aumentar

rendimientos y disponibilidad de tierras. Si ésto ocurriese de tal forma que los rendimientos permitieran exportar, los beneficios económicos obtenidos a partir de esta exportación podrían ayudar a los campesinos a cubrir el costo de la semillas, sin meterse en problemas con a las compañías que las desarrollan y que son dueñas de sus patentes. Para lo anterior, sería necesario brindar incentivos y mecanismos de financiamiento que permitan el aprovechamiento de las innovaciones biotecnológicas por los campesinos, además, por supuesto, del interés en desarrollar biotecnologías que atiendan los problemas particulares de estas naciones. Evidentemente, esto incluye no sólo enfocarse en los factores de su agricultura particular que requieren de solución (sequía, acidez, etcétera) sino también procurar que los cultivos modificados sean de interés comercial, alimenticio y cultural para las naciones en particular. Lo anterior, al menos por el momento, no se sigue (Fedoroff y Cohen, 1999; Delmer, 2005).

Los agricultores que pueden favorecerse mayormente con los cultivos GMs, especialmente de los que tienen rasgos de resistencia a herbicidas incorporados (ya que se necesitan muchos recursos para comprar los herbicidas en cuestión), son los que realizan actividad agrícola a gran escala. Esto afecta el balance socioeconómico, especialmente en los países en desarrollo. Esto se debe a que hay pocos campesinos que laboran a esta escala en este tipo de países; además, aún los que lo hacen se ven afectados por tecnologías restrictivas como la de "Tecnología de Restricción de Uso de Genes", que se conoce comúnmente como "Terminator". Estas tecnologías crean semillas estériles o evitan que una planta crezca exitosamente sin la aplicación de alguna influencia externa, posiblemente química. Este tipo de tecnologías pone a los campesinos bajo el firme control de la compañía que le suministra las semillas. Y desde luego, lo que los campesinos en países en desarrollo necesitan, especialmente los que no trabajan con tecnología industrializada, son semillas baratas y adaptadas a las condiciones locales que puedan guardarse y reutilizarse en temporadas siguientes (Delmer, 2005; Taşkin, 2006; Robinson, 1999).

Delmer (2005) mantiene que, a la escala que sea, los cultivos GMs, sobre todo los BT (que producen una proteína que funciona como pesticida natural), pueden ser útiles siempre y cuando atiendan a un problema particular de la agricultura local. Es decir, en naciones donde o bien se utilizan demasiados pesticidas y esto genera problemas de salud a los trabajadores (como el caso de China) o bien que no haya presupuesto suficiente para adquirir dichos pesticidas (como el caso de Sudáfrica) la tecnología BT puede resultar útil. Claro, siempre y

cuando esta tecnología sea efectiva combatiendo a las plagas particulares de esa región. Y siempre y cuando no haya venta ilegal de este tipo de semillas; el autor identifica casos como el de Brasil, India y China donde la ocurrencia de lo anterior ha disminuido el interés y los incentivos del sector privado de mantener la venta de semillas de calidad en dichas zonas. Es por ello que si se insiste en la entrada de dichos productos a naciones en desarrollo, para permitir su utilización y posibles beneficios por parte de todos los campesinos y no generar de otra forma desigualdad, tiene que hacerse con créditos, subsidios y apoyo por parte de los sectores privado y gubernamental, debido a que el costo de las semillas de buena calidad, y más de las GMs, es elevado y pocos campesinos pueden cubrirlo; mucho menos si implica costos extras (como en el caso de semillas Roundup Ready, donde hay que adquirir Roundup también) y donde hay factores ambientales como lluvia impredecible que podrían arruinar fácilmente un cultivo. Y por supuesto, debe mantenerse una búsqueda constante de desarrollo de cultivos de interés para naciones particulares.

Es sumamente importante evaluar los riesgos que pueden resultar del uso de semillas transgénicas en países en desarrollo, no sólo a nivel biológico sino también cultural. Uno de estos riesgos es que el uso de cultivos transgénicos puede llevar a una pérdida del conocimiento que enriquece la agricultura tradicional. Otro es que el uso de dichos cultivos impida o retrase el empoderamiento de las comunidades locales y/o la participación pública en los procesos locales de toma de decisiones. Incluso debe haber precaución de no favorecer cultivos que modifiquen la dieta local, de tal forma que no se suministren los nutrientes particulares que los cultivos comunes a una zona le aportan a la población, a favor de otros más económicos a nivel de producción que favorezcan el abandono de cultivos nativos. Este abandono puede ocurrir no sólo por ser ciertos cultivos más baratos de producir, sino por una occidentalización de las dietas que ha tendido a popularizarse en algunos países en desarrollo. Por ejemplo, favoreciendo el consumo de carne y cereales refinados, y dejando de lado el consumo de otros cereales, verduras y fruta. No sólo afecta la salud misma de las poblaciones, sino su capacidad de producir alimento suficiente; este tipo de cambios en la dieta hacen que se utilice más terreno de cultivo en agricultura y ganadería (con mucha de la producción agrícola destinada a la alimentación del ganado) que lo que podría aprovecharse siguiendo dietas, por ejemplo, vegetarianas, tradicionales. Este cambio de dieta podría ayudar a sugerir a los interesados que la única forma para poder mantenerla es mediante la incorporación de cultivos GMs, económicos y con rendimientos en ocasiones mayores, generando aún más problemas ambientales que los

que el mismo aumento del consumo de carne implica (mayor necesidad de tierra de cultivo, mayores emisiones de GEI, un correspondiente uso aumentado de pesticidas y fertilizantes; pérdida de hábitats y biodiversidad, contaminación del agua, erosión, etcétera) (Tilman et al, 2002; de Melo-Martín, 2008; Pretty, 2008; Gereffi y Christian, 2008).

Por todo lo anterior, la biotecnología, por más desarrollada que se encuentre en algún país, no podrá fortalecer la producción agrícola si no se aplica conjuntamente con tecnologías y una planificación estratégica apropiadas al ámbito económico, ecológico y social. Es decir que el uso de la biotecnología debe ser analizado desde la perspectiva de la sostenibilidad, que abarca precisamente estos tres ámbitos (OPS, 2003).

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo, estudié el tema de la controversia tecnocientífica que se ha generado y mantenido alrededor del tema de los Organismos Genéticamente Modificados, en particular de los transgénicos de cultivos, desde tres aspectos particulares: el paradigma a partir del cual se construyen y sus implicaciones prácticas; el tema de las patentes que se han obtenido a partir de este tipo de organismos y su lugar dentro del sistema de producción de alimentos.

SOBRE LA CONTROVERSIA MISMA

Como en todos los temas controversiales, existen dos tipos de posturas acerca de los OGMs: el que está a favor, y el que está en contra. Estas posturas, sin embargo, no son tal vez tan claras como sólo aceptar o rechazar a los OGMs, sino que poseen una cierta gradación: existen opiniones más y menos radicales en ambos extremos. Por ejemplo, los más aguerridos defensores de los OGMs (las compañías multinacionales que los producen, por mencionar un ejemplo) presentan el argumento de que la modificación genética de plantas y animales es sencillamente la más reciente de una serie de tecnologías que aumentan la productividad y que han contribuido a que la provisión de alimentos no se rezague con respecto al crecimiento demográfico mundial. Por otro lado, los críticos más fuertes de los OGMs (por ejemplo, Greenpeace) argumentan que los transgénicos son fundamentalmente diferentes de otros tipos de organismos, tan diferentes que deben ser prohibidos de inmediato, sin necesidad de efectuar más pruebas para determinar su inocuidad (Feldmann, 2000).

Estas posturas se mantienen debido a que existe un número considerable de argumentos, tanto a favor como en contra, del uso de transgénicos, sobre los que se sostiene la discusión actual. La cuestión de la incertidumbre tanto sobre beneficios como riesgos a largo plazo contribuye a mantener la controversia viva e irresoluble: la comunidad científica está literalmente dividida entre aquellos que se pronuncian a favor y aquellos en contra de esta tecnología. La división es tan marcada que puede llevar a preguntarnos qué tanto se mantiene viva la controversia por la validez de los argumentos respaldando ambas posturas o meramente por los diversos intereses implicados en el desarrollo de esta tecnología.

Es de suma importancia señalar que el que exista una controversia alrededor de este desarrollo tecnocientífico (o cualquier otro) no debe interpretarse como dañino o perjudicial para el desarrollo de la tecnociencia. Al contrario. La ciencia avanza, entre muchas otras cosas, a partir de controversias. Al momento de buscar su resolución, tienden a responderse una serie de preguntas generadas a partir de las disyuntivas existentes, y a generarse otras nuevas que favorecen el desarrollo científico. Sin embargo, hay controversias que rebasan el ámbito de la ciencia y abarcan una serie de otros temas y disciplinas. Shelton (2003) corrobora lo anterior al establecer que “las controversias en ciencia pueden ser sanas, siempre y cuando nos lleven a preguntas sobre las que puede realizarse investigación, motivando así el avance del conocimiento”. Sin embargo, resalta, utilizando como ejemplo dos investigaciones controversiales en el caso de los OGMs (la de Quist y Chapela, 2001, y la relacionada con el daño de la tecnología BT a las poblaciones de mariposas monarca de Losey *et al.* de 1999) para mostrar que dentro de las controversias científicas hay otros factores en juego, como la integridad de los científicos, las políticas de las publicaciones científicas y el papel de los medios al momento de comunicar los avances científicos al público en general. Su argumento es que “la ciencia es realizada por personas, con prejuicios y visiones del mundo propias, y ésto puede afectar el modo en que se realizan y reportan los experimentos [...] como nosotros (los científicos) dependemos de financiamientos competitivos y reconocimiento para el avance de nuestras carreras, algunos sentirán la presión de publicar sus trabajos antes de que estos sean sólidos”. A lo anterior me gustaría añadir que, además de la presión por publicar, que es aumentada por los criterios actuales de avance de las ciencias, hay con frecuencia intereses externos a su propia investigación o desarrollo personal, que tienden también a interponerse en el camino de la investigación, por más objetiva que sea. Todos estos factores pesan especialmente dentro de la controversia sobre los OGMs. Además de que esta tecnociencia en particular implica riesgos con consecuencias difíciles de prever y, algunas de ellas, tal vez imposibles de revertir.

De acuerdo con los estudios existentes sobre los riesgos y beneficios que este desarrollo tecnocientífico representa para los seres humanos y la naturaleza que los rodea, parecería que no debería subsistir una controversia; mi convicción, después de estudiar sus diferentes dimensiones y consecuencias es que, en este momento, dicho desarrollo es más riesgoso que benéfico, y por lo mismo, no debería seguir utilizándose de manera comercial, sino que debería establecerse algún tipo de moratoria que detenga su avance hasta que el peso de la balanza

cambie y haya más beneficios (al menos para el consumidor), o bien hasta que se desarrollen alternativas más seguras.

Sin embargo, a partir del presente estudio, he visto que la controversia tecnocientífica sobre riesgos ambientales y sanitarios no está cerrada y probablemente no tenderá a cerrarse en los próximos años. Dado el estado actual de esta tecnociencia y de las discusiones a su alrededor, no hay consenso que satisfaga a todas las partes involucradas. A veces hay consenso científico, a veces político, a veces de ninguno de los dos. Esto provoca disputas; en parte tiene que ver con una visión a corto plazo por parte de varios actores involucrados, y en parte tiene que ver con el punto de vista a partir del cual discuten dichos actores.

Partamos, por ejemplo, de la idea de que se mantiene el dominio de uno de los paradigmas científicos, mencionados en el capítulo 3 de esta tesis, que guía el desarrollo de la biotecnología. Esta biotecnología surge de una determinada concepción de los seres vivos que presupone que podemos tener control técnico sobre los seres vivos. Aun cuando hay cada vez hay mas evidencias de lo contrario, esos presupuestos se mantienen, y no hay disposición para modificarlos, lo que complica la solución de la controversia. Los biotecnólogos que desarrollan esta tecnociencia evidentemente apoyan y defienden ese paradigma, minimizando los riesgos, en primer lugar, por no tomar en cuenta factores externos a los OGMs que están creando, y porque, en ocasiones, su trabajo es patrocinado por las compañías que poseen las patentes de dichos organismos. Estas se benefician de forma casi exclusiva por la producción y venta de semillas patentadas, monitoreando y vigilando a sus clientes y a los que no lo son. Los riesgos se minimizan también por parte de dichas trasnacionales, proclamando beneficios que no existen y omitiendo su clara intención del lograr el monopolio y control de la producción de alimentos, gracias al uso masivo e intensivo de esta tecnociencia, en oposición a las técnicas y fines de pequeños productores y pequeñas compañías, que no son capaces de competir en el mercado global ni incluso local. Las tecnologías de OGMs forman parte ineludible de un modelo de desarrollo neoliberal, poco incluyente, establecido por países desarrollados y apto para sus sistemas de producción agropecuaria, modelo que tratan de imponer y establecer en países en desarrollo, donde no hay condiciones ni capacidades para que la producción de estos OGMs, con todo lo que implica, resulte adecuada. Por lo tanto, vemos que desde ninguno de estos frentes parece razonable admitir la bondad de esta tecnociencia ni su necesidad; mientras que frente a los riesgos posibles, parece poco sensato fomentar su uso y liberación indiscriminada en los

campos de cultivo. Por otro lado, el discurso tecnocientífico se vuelve ideológico y se aparta de consideraciones científicas rigurosas. Es el discurso del progreso tecnológico que permea a toda la sociedad: lo avanzado, competitivo y moderno son los OGMs.⁷ Analizaremos detalladamente lo expuesto en este párrafo a continuación.

LOS PARADIGMAS CIENTÍFICOS A DEBATE

Si tomamos en cuenta todo lo que se conoce hoy en día en términos de epigénesis y de la importancia que tienen los factores extragenéticos en el proceso de desarrollo, además de los errores conceptuales de posturas reduccionistas y deterministas, cuesta mucho trabajo aceptar los postulados del paradigma genocentrista y su aplicación práctica en materia de regulación: la equivalencia sustancial. Sin embargo, la controversia entre paradigmas se mantiene, y se han esgrimido argumentos científicos, filosóficos y conceptuales para mantenerla vigente, aun cuando pudo haber sido superada hace décadas. ¿Qué mantiene esta controversia científica viva, aun cuando representa una deformación o tergiversación de la biología?

Strohman (2001) cree que en parte se debe a que la biología se encuentra en los últimos años en medio de una revolución, en el sentido de Kuhn: tenemos dos paradigmas incompletos, el determinista y el holista. Desafortunadamente, las agendas de investigación, como ya habíamos mencionado anteriormente, han favorecido la idea de que todas las explicaciones, respuestas y soluciones están en los genes. Asimismo, los grandes corporativos han invertido enormes sumas en esta postura, e incluso las principales universidades del mundo, que uno hubiera pensado que funcionarían como un bastión contra esta nueva dinámica, se encuentran hoy en día íntimamente ligadas a dichas corporaciones. Por ello, alejarse del paradigma dominante se complica cada vez más, especialmente mientras más dinero se invierte en esta forma de pensar. Es muy probable que se mantenga vigente por razones de mercado: es más fácil mercantilizar un gen que una red de interacciones sistémicas, que, además, es distinta según el contexto de desarrollo o ambiental en que se encuentre (¿cómo se podría patentar lo que siempre está en cambio e inestabilidad dinámica?). Es la *economía política de la biología*

⁷ Pero este discurso ideológico termina siendo anticientífico: por lo que ya se conoce hoy en día sobre las interacciones genéticas, los OGMs pueden representar también “retrocesos” y pérdidas en términos económicos, ambientales y sociales.

molecular lo que ha mantenido a este paradigma, pero que exhibe sus limitaciones teóricas y conceptuales por los datos, teorías y comunidades científicas que están trabajando desde el paradigma organicista, holista, desde hace varios años. Dicho de otro modo: la biología molecular se ha convertido en la economía política de la nueva revolución biotecnológica de los OGMs en su intento de transformar y monopolizar (mediante el control de semillas y las patentes) radicalmente las formas de la producción agrícola en todo el mundo. El paradigma genocentrista ha sobrevivido mucho más de lo que tendría que haber durado; hay una cantidad enorme de evidencia disponible que no permite admitirlo, al menos no como un modelo de explicación completo y equilibrado. Pero ha sobrevivido no por razones epistémicas, sino por los enormes intereses económicos y políticos que lo sostienen. Lamentablemente, muchos científicos se han adherido a él, esperando recibir fondos para sus investigaciones y/o dividendos por las patentes y comercialización de los productos, al margen de los riesgos que se puedan producir. Esto quiere decir que hay factores de economía política que favorecen esta visión: hay un fuerte conflicto de intereses en el desarrollo tecnocientífico. Esto se discutirá a fondo más adelante.

LAS PATENTES

La idea de ver a los organismos como conjuntos de partes, fácilmente intercambiables e intervenibles (por ejemplo, para modificar sus partes) y que constituye el paradigma que mantienen los biotecnólogos, se contraponen a lo que la misma biología ha empezado a desarrollar y a aceptar como paradigma vigente. Su manera de referirse a los OGMs como "fabricados", "construidos", como si fueran artefactos convencionales hechos con materia inorgánica (cuyas partes no interactúan hasta cierto punto de formas complejas y dinámicas) favorece el salto conceptual a aceptar que es permisible patentarlos. El paradigma genocentrista se ha visto favorecido, como sucede con otros paradigmas científicos, por razones extraepistémicas; y es que se adecua, tanto a los fines prácticos como a las representaciones conceptuales de los biotecnólogos de todo el mundo, que han intentado encontrar, cual viejos alquimistas, el "flogisto genético", la receta mágica que permita "construir" o fabricar organismos vivos a voluntad, engañando a la naturaleza, haciendo pasar estos bioartefactos

como si fueran enteramente “naturales”. El paradigma reduccionista es tanto causa como efecto del interés tecnológico-instrumental de transformar los organismos vivos, rediseñarlos, patentarlos y venderlos en el mercado mundial. Por tanto, en el corazón de la biotecnología de los transgénicos hay un interés tecnológico-comercial que subordina los fines epistémicos, ambientales y sociales; si esta tecnología permite su fabricación, todo parece indicar que es permisible utilizarla en el sistema comercial global. Las patentes sobre organismos vivos, sin embargo, como cualquier otra, son válidas siempre y cuando se pruebe que presentan algo innovador. Esto es complejo y a la vez intuitivamente incorrecto: lo que ha sido patentado es un cambio genéticamente sustancial que otorga propiedad sobre un organismo vivo, por su conversión a un bioartefacto para fines comerciales. Por otro lado, si todo se reduce a y se determina por los genes, se puede dar el salto conceptual para evitar regulaciones, mientras el cambio técnico que se opera en uno de ellos no produzca diferencias sustanciales en el producto final; entonces este es equivalente a uno no modificado. Ahora, si la modificación es tan inocua que el producto se considera sustancialmente equivalente, ¿cómo es que se justifica la obtención de patentes a partir de este cambio? El concepto de patente implica invento, novedad, innovación; la *equivalencia sustancial* implica permanencia, igualdad. Hay una fuerte contradicción entre los fines comerciales y sus justificaciones “científicas”. Este es un doble discurso, válido únicamente por razones de conveniencia, que tiene su origen en la política desregulatoria (típica del modelo neoliberal) para esta tecnología: la industria logró argumentar y convencer a los gobiernos y sus agencias reguladoras que los alimentos GMs eran lo suficientemente *novedosos* como para requerir nueva legislación y cambios en la estructura del sistema de derechos de propiedad intelectual para poder ser patentados; pero no tan novedosos como para introducir regulaciones y restricciones por posibles riesgos a la salud pública o ambiental (Millstone, 1999). Para esto último utilizaron el falaz concepto de “equivalencia sustancial”, y de este modo han ido evitando o superando las regulaciones ambientales, sanitarias y comerciales.

Por tanto, el interés económico-comercial determina en gran medida las concepciones del paradigma genocentrista y sus derivados prácticos, como la equivalencia sustancial. Pero la controversia científica sobre los OGMs también depende de otro paradigma anticuado (en el sentido de que es un sistema no diseñado para atender nuevas necesidades surgidas a partir de nuevos desarrollos) respaldado por el sistema de patentes. Los transgénicos se han comercializado como la opción moderna, la solución técnico-científica eficaz para los problemas

de la agricultura, desde el paradigma genocentrista lineal, y no desde una perspectiva sistémica y ambiental. Y este paradigma de novedad, de actualidad, va de la mano con el tema de que las patentes son el modo adecuado de validar y de asegurar este tipo de productos. Ambos están íntima e indisolublemente ligados. La privatización de la producción de semillas, vía las patentes de OGMs, fue el detonador de la controversia, tanto en el plano científico-técnico como en el plano social, político y económico. Si se hubiera tratado de una tecnología pública, con acceso libre o de bajo costo, no habría surgido tanto problema. Sin embargo, no lo es, y esto desencadena un aspecto fundamental de la controversia, el del conflicto de intereses.

CONFLICTO DE INTERESES

La estructura de evaluaciones y de sistemas de patentes es inadecuada para este tipo de bioartefactos; actualmente no disponemos de una estructura jurídica ni técnico-científica para realizar evaluaciones de riesgos suficientes y rigurosas, porque no se hicieron o se hacen de una forma suficientemente extensiva, a raíz de la supuesta suficiencia de la “equivalencia sustancial” como método para ello. Además de estar construida sobre modelos inadecuados de regulación, también está construida sobre modelos científicos inadecuados, sobre una ciencia deficiente. Hay un problema estructural en cómo se crearon estos mecanismos institucionales y gubernamentales para regular y finalmente legitimar las biotecnologías, como las de los transgénicos, pues se sustentaron en la presión de los intereses de la industria, y se unieron a los intereses de los gobiernos. Por eso ha habido instituciones y organismos públicos que han entrado en el conflicto por su participación en los intereses económicos surgidos a partir de este desarrollo. El gobierno, sus instancias de regulación y supervisión, los funcionarios, los científicos ligados a éste, los investigadores de universidades privadas y públicas, todos ellos suelen virar su posición precautoria y de política pública, necesarias ambas para la correcta gestión de una tecnociencia tan compleja como ésta, a tener una opinión mucho más abierta, interesada en el “desarrollo nacional” de la ciencia y la economía, enfocada a la obtención de ganancias inmediatas. ¿Qué papel deben jugar los agentes negociadores de las empresas que poseen las patentes, los diputados y senadores que deben aprobar las regulaciones, y los *lobbistas* del sector industrial interesado que negocian con los anteriores, en el cambio, a veces radical, de las posiciones de los agentes sociales en esta controversia?

Por otro lado, podemos observar también un proceso, a veces sutil y a veces muy abrupto, de subordinación a los intereses de la industria en la aplicación y de generación misma del conocimiento científico, por el cual los científicos se comprometen y subordinan a las grandes trasnacionales. Feenberg (2009) habla de una ambigüedad en la que cuando los actores involucrados en este desarrollo buscan autonomía, dicen estar haciendo ciencia; cuando buscan apoyo económico, hablan de estar desarrollando tecnología. El hacer tecnociencia, entonces, conlleva un componente económico de inicio, generalmente ligado a apoyos brindados por grandes compañías que harán uso de la tecnociencia obtenida.

Lo anterior nos debe conducir a analizar una vez más, inevitablemente, en el papel de la ciencia y los científicos en la controversia. Feenberg (2009) enfatiza que aun cuando emplean a los científicos y el conocimiento que estos producen, las corporaciones no deberían gozar de la autonomía relativa con la que cuenta la actividad científica, debido a que la controversia con la que trabajan no es sobre ideas sino sobre riesgos potenciales, y porque a veces es difícil confiar en dichas corporaciones en el momento de decir la verdad sobre estos riesgos o actuar para evitarlos. Feenberg cita como ejemplo el trabajo de Michaels (2008), quien mantiene que dichas corporaciones manipulan información o crean controversias artificiales, como en el caso de las compañías de tabaco o las de producción de energía (en relación con el cambio climático). La experiencia histórica reciente, y debido a la colusión con muchos agentes corruptos de los gobiernos, no se puede confiar en las buenas intenciones expresas de las corporaciones industriales más poderosas y expandidas del mundo, quienes detentan las patentes del OGM. No son los actores indicados para resolver adecuadamente las controversias tecnocientíficas, sino que se necesita de un proceso de deliberación democrática y plural que permita que estos intereses no rijan los procesos regulatorios ni subordinen al conocimiento científico y a las obligaciones de los Estados para regular el medio ambiente, la salud y el desarrollo económico.

La pregunta que surge entonces es la siguiente: ¿existe realmente una controversia alrededor de la tecnología de los transgénicos, o bien, a sabiendas de que tal vez sería preferible optar por el desarrollo de otras tecnologías menos riesgosas, se mantiene viva la controversia por razones extracientíficas?

Hemos visto aquí que la controversia existe en varios niveles y dimensiones, que no es artificial, a diferencia de la opinión de Michaels (2008) sobre otras similares; existe porque en otras circunstancias, por ejemplo, si los cultivos GMs distribuidos alrededor del mundo fueran de

utilidad para los países específicos donde existen y para los consumidores, es decir, si las promesas alrededor de estos organismos produjeran resultados reales, podría hacerse un análisis de costo/beneficio muy distinto al que podemos hacer en las condiciones actuales. Y esta posibilidad no se descarta, simplemente se plantea como el siguiente paso a seguir en la historia de esta tecnociencia. La controversia existe, y se mantiene abierta debido a los intereses multimillonarios de los desarrolladores de esta tecnociencia y a sus intenciones de controlar y manipular el mercado mundial de producción de alimentos. La controversia general se mantiene, a pesar de las opiniones de algunos actores, debido a la incertidumbre esencial y a la imposibilidad de controlar técnicamente el comportamiento ambiental de los OGMs, es decir, a que la tecnología es defectuosa y no debería haber calificado para ser patentable, siquiera como una innovación técnica eficiente. La controversia es mantenida intencionalmente por la industria para retrasar la aplicación de medidas precautorias y de bioseguridad, introduciendo más incertidumbre y bloqueando todas las investigaciones independientes que se hacen sobre riesgos y daños ambientales y sanitarios. ¿Por qué se mantiene? Porque al mantener viva la controversia, se “gana tiempo” de uso y se puede recuperar la inversión: si no hay consenso sobre sus daños y falta de beneficios, no hay por qué evitar su uso y consumo, sobre todo frente a la promesa de beneficios que sus proponentes plantean. La incertidumbre favorece que la controversia se mantenga; es usada a su favor por los intereses de seguir desarrollando y obteniendo ganancias a partir del estándar comercial de esta tecnociencia.

La situación actual de los transgénicos no es susceptible de modificarse a corto plazo, mientras estos intereses sigan siendo motor y guía de las decisiones que se toman alrededor de esta tecnociencia. En condiciones distintas, la controversia tal vez podría quedar resuelta, ya que si, por ejemplo, los transgénicos tuvieran funciones deseables para el consumidor y más benéficas que dañinas, los beneficios podrían considerarse superiores a los riesgos; sin embargo, en el estado actual de esta tecnociencia no se corre con esa suerte.

MONOPOLIOS

Podemos afirmar hasta este punto de la presente investigación que esta biotecnociencia reduccionista tiene más consecuencias negativas que positivas. Una de ellas es que favorece el monopolio comercial que ya ejercen unas cuantas corporaciones y promueven un monopolio conceptual e ideológico (además de técnico y comercial) que éstas ejercen en su mercadotecnia

y cabildeo para crear una buena imagen mundial ante el público consumidor. El paradigma reduccionista genocéntrico que prevalece ha dado lugar a tecnologías como los transgénicos, que se defienden desde este paradigma tradicional mecanicista, y que tienen como resultado un sistema con mucha facilidad de inversión y mucho dinero involucrado. Dicho paradigma forma parte, a su vez, del paradigma tradicional de interacción entre ciencia-tecnología-mercado, del beneficio económico inmediato, el sistema de patentes, la competencia inequitativa, y de la privatización del conocimiento. Es un conjunto de paradigmas que hoy han entrado en crisis como modelo de desarrollo económico, social y ambiental.

Los efectos nocivos de ese orden socioeconómico en la transformación reciente del sistema mundial de producción de alimentos, a partir de un modelo hegemónico y monopolista en manos de 5 compañías transnacionales, no sólo es un riesgo mayor, es ya una realidad con consecuencias potencialmente desastrosas para la biodiversidad, la seguridad alimentaria y las relaciones económicas y políticas entre los países.

Ahora son los monopolios los que regulan, debido a la gran tajada del pastel que se apropian del mercado; poco tiene ya que ver la política regulatoria nacional e internacional en este mercado, por negligencia, corrupción o incapacidad. La transformación biotecnológica de la producción de alimentos es ya un fenómeno global, no hay cómo evitarlo y no es claro que siquiera se asegure su objetivo central: el abasto mundial. Los efectos inequitativos sobre cómo se reparten los beneficios y los riesgos también están globalizados. El beneficio del mercado es prioridad, pero en un caso tan delicado como éste no tendría que ser así. El bienestar social y ambiental tendrían que pesar de igual forma; la opinión del público tendría que pesar tanto como la de los grupos de "expertos" y como la de las grandes compañías transnacionales. Desde luego, falta un largo camino por recorrer para que esto ocurra, y no queda claro tampoco que estemos dando pasos hacia ese camino.

NUESTRA ACTITUD NO ES DEMOCRÁTICA

Linares (2009), afirma que

Las controversias sobre el desarrollo tecnocientífico implican nuevos problemas de gestión política de orden nacional e internacional. La participación social en la evaluación de los riesgos del mundo tecnológico no puede darse como un proceso de repentina "iluminación" colectiva; es más bien fruto de un largo proceso de transición para construir una cultura de deliberación pública que

se apoye en el conocimiento, pero que no se reduzca a la opinión de los expertos. Además, es necesario tener en cuenta que en las controversias intervienen tanto la “subjetividad del riesgo objetivo” como la “objetividad del riesgo subjetivo”, pues a medida que la sociedad posea mayor información (no siempre adecuada o bien comprendida), que recibe principalmente de los medios masivos de comunicación, se generará una discrepancia entre los riesgos objetivos (calculables hasta cierto punto) y la construcción intersubjetiva de los mismos. Ahora bien, la percepción colectiva de un riesgo razonablemente aceptable por todos para poder resolver las controversias, dependerá no sólo del avance de la investigación científica para aportar explicaciones e información relevantes, sino también de la gestión política de los riesgos, del nivel de difusión y comprensión social de la información, de los procedimientos de legitimación de las innovaciones tecnológicas, así como de la capacidad de reflexión ética de las comunidades involucradas.

Lo anterior es un escenario deseable, pero aún inalcanzado. La controversia sobre los OGMs es, hasta este momento, irresoluble, por razones científicas (el apoyo al paradigma caduco) y por el conflicto social de intereses incompatibles (monopolio comercial y hegemonía tecnocientífica vs. agricultura de intercambio de semillas en escalas diversas y pluralidad de métodos de mejoramiento agronómico). Pero si la controversia es irresoluble, ¿cuáles son las medidas regulatorias y precautorias que pueden acordarse como resultado de un debate público y democrático, teniendo como objetivo central el interés común y el bien público? ¿Hay menos incertidumbre de la que parece o son tan inadecuados todos los marcos que no hay realmente una información fehaciente y objetiva acerca de estos bioartefactos?

Existe una contradicción entre la tecnociencia, su producción e innovación, con los sistemas supuestamente democráticos actuales, especialmente los de los países en desarrollo. En ellos, no hay escrutinio público; los intereses de muchos ciudadanos involucrados y potencialmente beneficiarios o afectados no figuran en la agenda. Los sistemas institucionales de representación popular ya no representan a los ciudadanos. La carencia de escrutinio se debe a que se piensa que la sociedad no está en condiciones de opinar que es lo que quiere que se desarrolle y para qué; el problema es que esta tecnociencia plantea efectos colaterales e imprevistos con consecuencias sociales, ambientales, económicas, etc. que son de interés público, y aun así el tema no se toca más que por grupos de expertos que toman decisiones por tener “conocimiento privilegiado”, donde el resto de la sociedad, por no tenerlos, no puede opinar ni tomar decisiones. Rommens (2010) opina que la falta de apoyo público a los cultivos transgénicos puede o bien ser una consecuencia de un analfabetismo científico y una incapacidad de los proponentes para educar a los ciudadanos sobre los beneficios de este tipo de cultivos, o bien que los consumidores simplemente no encuentren razones para apoyarlos, debido a que no les brindan beneficios visibles. Esto último puede ser el caso en países

desarrollados, pero el analfabetismo científico es amplio en países como el nuestro, y a éste se debe, me parece, la incapacidad no de aceptar este tipo de cultivos por no entender sus beneficios, sino de dejarlos entrar por no estar conscientes de los riesgos que plantean.

¿Cómo incide la opinión pública y la ciudadanía en el rumbo del desarrollo científico? Escasamente. Hay debates y controversias públicas, pero pocos, y menos en países en desarrollo. Y esto va aunado a la existencia de una paradoja: no hay manera de llamar la atención de los ciudadanos más que por medio del escándalo mediático, aun cuando esto no conlleva un monitoreo bien hecho sobre la tecnología y su desarrollo. El “debate escandaloso” nubla el examen más ponderado que tendría que darse de manera continua sobre los fines y medios del desarrollo tecnocientífico. El escrutinio público ha sido mayor con ciertas preocupaciones que se han vuelto prioritarias: debates sobre riesgos a partir de daños ya evidentes o accidentes tecnológicos que han ocurrido, como en el caso de la energía nuclear. Los ciudadanos tienden a movilizarse sólo cuando la amenaza es directa contra ellos y no lejana. En nuestro país, además de que esta amenaza no se siente, al haber falta de educación y de información (que nos hace no sentirnos amenazados) nos hace cuestionar qué tanto estamos calificados para participar en debates públicos.

Hay que repensar cómo debe incidir la decisión ciudadana mediante sistemas democráticos para no sólo monitorear o evaluar la tecnociencia que ya existe y su desarrollo, sino para tomar decisiones desde el diseño y planeación de qué y cómo investigar, distribuir y repartir: esto no sólo compete a los agentes de mercado. Bien dice Spier (2005), “la justicia en la forma en que una sociedad distribuye sus recursos es crucial para su bienestar. El reto que enfrentamos es el de mantener un sistema de recompensas que fomente la invención mientras que provee, simultáneamente, a más ciudadanos de los beneficios de esas innovaciones”.

Los valores ético-políticos de una sociedad democrática incluyen transparencia, rendición de cuentas, justicia social, igualdad de derechos entre ciudadanos. Todos ellos deben de tenerse en cuenta al momento de discutir el futuro de tecnociencias como estas, además de sumarse a un debate público para resolución de las controversias tecnocientíficas.

Es necesaria, también, una redistribución de poder que no será sencillo ni obvio que ocurra. Linares (2009) resume todo lo anterior en el párrafo siguiente:

La responsabilidad implica impulsar el desarrollo de investigaciones científicas independientes de los intereses mercantiles y de los poderes políticos y militares; es decir, un objeto primario de

protección de la responsabilidad es el conocimiento mismo. El objetivo de esta investigación básica consiste en prevenir y anticipar los efectos negativos de la intervención tecnológica, así como publicar y difundir a tiempo todo lo que se sabe sobre los riesgos para que la sociedad tome decisiones autónomas, mediante procedimientos democráticos que involucren a los directamente afectados. El carácter complejo de los nuevos artefactos que se introducen en el mundo implica que, por responsabilidad socialmente compartida, debe ponerse límites a algunos intereses sociales (en principio legítimos) que constituyen el impulso esencial de la innovación tecnocientífica, si es que existen riesgos de consideración. La primera regla derivada de la coresponsabilidad nos indicaría que los proyectos tecnocientíficos deben ser sometidos al escrutinio público, y al debate entre diferentes agentes sociales para que se garantice la seguridad y un nivel de riesgo aceptable, en función de intereses legitimados y consensuados (la salud, la bioseguridad, la protección ambiental, etcétera). Asimismo, se debe asegurar la independencia para investigar, debatir y publicar todo lo referente a las controversias tecnocientíficas. Aquí la intervención de los medios de comunicación y de las instituciones de educación es crucial para potenciar el juicio informado y la decisión autónoma de todas las personas involucradas [...] (se busca) introducir en la racionalidad tecnológica valores ético-políticos para reorientar y someter a un examen público aquellas tecnociencias que posean riesgos de gran magnitud sobre la naturaleza y la vida humana, para contrapesar el predominio de valores mercantiles, militares y de poder político que han impregnado a la tecnociencia. Mediante las controversias, como mecanismos sociales de deliberación sobre el desarrollo tecnocientífico, es posible que se transparenten y se equilibren los fines y los intereses de todos los agentes que están involucrados en dicho desarrollo (tecnólogos, científicos, inversionistas, corporaciones industriales, gobiernos y agencias estatales, grupos ciudadanos, usuarios y consumidores, etcétera) para que lleguen a un consenso de equilibrio razonable. Pero esto sólo es posible si se difunde ampliamente la información y se estimula el debate público para que la sociedad pueda deliberar y evaluar con suficiente tiempo las consecuencias, beneficios y riesgos de cada innovación tecnológica. Para tales fines, es factible poner en práctica en el ámbito político diversos mecanismos de participación democrática y de contrapoder ciudadano que interactúe con las instituciones convencionales (los parlamentos, los sistemas judiciales y las agencias gubernamentales). En suma, requerimos *democratizar la tecnociencia* para que ésta, a su vez, democratice a la sociedad tecnológica, porque una tecnociencia en constante debate público constituye, de hecho, una reinención de la democracia actual mediante un nuevo contrato social que se centre en consensos ciudadanos adoptados tras un proceso deliberativo y argumentado.

TRANSGÉNICOS: TECNOCIENCIA NO SUSTENTABLE

Hoy en día el término “sustentable” ha cobrado una gran popularidad. Desde diversos frentes tratan de convencernos de que nuestras acciones deben ser sustentables para que podamos aspirar, como humanidad, a un mejor futuro. Y tienen razón, si tomamos en cuenta lo que se entiende tradicionalmente por sustentabilidad: un equilibrio entre los aspectos

económico, social y ambiental de nuestras actividades y prioridades, de manera que ninguno de estos ejes sea prioritario sobre los otros.

La tecnología de los cultivos GMs toma la bandera, según sus proponentes, de la sustentabilidad; pero resulta precisamente, y desde todos los ámbitos estudiados, no sustentable. En principio, una tecnología excluyente, que genera y favorece la desigualdad social, además de presentar riesgos ambientales, no es el escenario de "sustentabilidad" que deberíamos estar defendiendo. Pero éste no es el único punto desde el cual esta tecnociencia es no sustentable; el paradigma reduccionista/determinista es insostenible a la luz de la evidencia actual; el sistema de patentes es insostenible por razones éticas, de mercado, de justicia y de incapacidad legislativa para atender patentes de seres vivos; el sistema de producción actual es insostenible por razones ambientales, económicas y sociales. Luego, la tecnología de OGMs no es ningún tipo de vía hacia la sostenibilidad, sino todo lo contrario.

Esto quiere decir que todo lo que nos han dicho que está bien sobre esta tecnociencia en realidad no se sostiene desde los tres aspectos que desarrollé en este trabajo. Sin embargo, se sigue utilizando porque hay intereses económicos que rebasan la ciencia. Esta tecnociencia ha ido descrita como una "Science-based business", es decir, una negocio basado en la ciencia. La ciencia es inseparable, en un tema tecnocientífico como éste, del negocio, por cómo ha sido planteada. El negocio retroalimenta la forma en la que se hace ciencia. El problema es que la ciencia en que se basa no es buena ciencia, pero sí da lugar a un eficaz y lucrativo negocio. Esto no es sustentabilidad, es favorecer uno de los ejes solamente y peor aún, hacerlo enarbolando la bandera del conocimiento científico.

SITUACIÓN ACTUAL Y ESCENARIOS FUTUROS HIPOTÉTICOS

La situación actual en que nos encontramos en relación con los cultivos GMs es una que está lejos de ser ideal. En materia de los cultivos en sí mismos podemos observar que hay miles de hectáreas cultivadas; las modificaciones comercializadas son poco útiles y muy conflictivas; se han encontrado algunos aumentos de rendimientos pero sólo en determinadas condiciones, que generalmente no coinciden con las típicas en un país en desarrollo; la generación de

productos que son comercializados hoy en día no corresponde a las promesas que se hacen sobre esta tecnociencia, que no se cumplen; falta de prioridad de búsqueda de alternativas verdaderamente sustentables; ha habido un notable aumento del control de la producción de alimentos por parte de un número contado de compañías; se brindan pocos beneficios al consumidor, que ciertamente no superan a los riesgos que les plantea. Esto no quiere decir, desde luego, que no hay beneficio alguno. Delmer (2005) señala que los cultivos de soya Roundup Ready en Argentina y Brasil han aumentado los rendimientos en estos países; sin embargo, el cultivo de OGMs favorece la tendencia al monocultivo y su éxito ha promovido que se utilicen cada vez más terrenos para el mantenimiento de la biodiversidad como tierras de cultivo (tala y deforestación). Aunado a esto, vemos que hay una incapacidad social y gubernamental para regular adecuadamente esta tecnociencia; los sistemas de control son insuficientes (por ejemplo, la aplicación de patentes); se fomentan situaciones de injusticia y exclusión; los grandes agricultores han adoptado las tecnologías por la promesa del aumento rápido del rendimiento de los cultivos, pero se sabe que éste decrece después de que alcanza el punto de saturación; la brecha de desarrollo (técnico, económico y cognitivo) entre países no disminuye; no se han desarrollado OGMs propios y para cada país y región; finalmente, la aprobación rápida y presionada de estas tecnociencia favorece mecanismos de corrupción política y opacidad de información para el resto de la sociedad.

Esta no es una situación que favorezca a la población de nuestro país, ni al mundo en que vivimos. Sin embargo, no es la única posible, hay escenarios alternativos que pueden plantearse donde la situación se muestra más justa y segura para todos. De Melo-Martín (2008) se hace este mismo cuestionamiento: "Simplemente aumentar los análisis de riesgos acerca del uso amplio de nuevas biotecnologías agrícolas no es suficiente. Es igualmente importante la pregunta de si acaso existen mejores alternativas, menos riesgosas o más benéficas. Para ello, debemos evaluar las metas que estas nuevas biotecnologías supuestamente alcanzarán y los medios para ello. Por ejemplo, si el objetivo es alimentar al hambriento y atender el problema de la desnutrición es válido preguntarnos si hay mejores alternativas o formas de producir el alimento suficiente para toda la población mundial. Si esta es una de las metas, debería serlo también producir y distribuir el alimento de forma tal que la gente sí resulte alimentada. Mientras todas las condiciones que evitan la distribución correcta de alimento prevalezcan, es necesario preguntarnos si los transgénicos por sí solos podrían aliviar el hambre y desnutrición entre los pobres." Como también señala Delmer (2005), los cultivos GMs son sólo uno de los

muchos acercamientos hacia la resolución de los problemas de hambre en el mundo, y los países en desarrollo deberían tener la capacidad de evaluar su utilidad en el contexto de sus necesidades y prioridades propias.

Sobre los escenarios alternativos posibles, podemos, en primer lugar, y como la situación más óptima, pensar en un mundo libre de transgénicos, donde se han evaluado y aplicado alternativas sustentables que permiten, con un bajo impacto ambiental, producir alimento de calidad que llega a las personas que lo necesitan. Como solución a los problemas de producción de alimentos ante los problemas ambientales como el cambio climático y aumento poblacional se tendría, por ejemplo, el rescatar la agricultura local y de rotación de cultivos, porque estos sistemas adaptados localmente son especializados e intensivos, ecológica y económicamente sustentables. En un mundo ideal, ésto iría acompañado con esfuerzos de control poblacional para que las poblaciones crezcan de manera moderada, sin ejercer presión a la capacidad de carga planetaria.

Este escenario es, como hemos visto, improbable. Sin embargo, no es el único. Lo deseable es contar con alternativas tecnológicas verdaderamente sustentables y suficientes para resolver nuestras necesidades alimenticias sin generar daños o riesgos. Si no es posible esto y se tienen que recurrir a transgénicos invasivos, al menos debería asegurarse que tuvieran ventajas como las prometidas para la segunda generación. Sin embargo, esto no ocurre entre otras cosas porque por apresurarse y empujar la comercialización de cultivos inútiles y potencialmente dañinos, y obtener grandes beneficios a partir de ello, se cierran las puertas para otros que sí podrían tener utilidad. Lo que nos lleva al segundo escenario posible.

Podría pensarse en un escenario en que nos enfocáramos en la creación de transgénicos útiles para solventar problemas de la humanidad, ayudando a que sus beneficios superen a los riesgos. Se aplicaría el principio de precaución, del que hablaremos a continuación, junto con monitoreos y análisis de alternativas sustentables, acompañados por una participación ciudadana activa y educada. Que la ciencia que se realice sobre el tema sea la apropiada, adecuada a cada una de las regiones en las que éstos se cultivan; esto favorecería el perfeccionamiento de cultivos cercanos a la alimentación local que resuelvan problemas locales. Estos transgénicos útiles no se cultivarían sin una vigilancia extrema y continua búsqueda de alternativas, desde luego. Delmer (2005) señala que esta transición no se ha hecho en parte porque el debate mismo ha limitado el desarrollo de cultivos verdaderamente útiles: las

protestas han causado que haya menos contribuciones monetarias para este tipo de desarrollos y porque en algunos lugares han sido tan extremas que han generado duda de si se debe cultivar cualquier tipo de transgénico, aun en fases experimentales que nos permitirían analizar su utilidad en países en desarrollo.

Así pues, la controversia sobre los OGMs se mantiene merced a la visión productivista, desarrollista, tecnoingenua, que involucra inequidad y destrucción ambiental, contra una visión más precautoria, social, de sustentabilidad, de respeto y aprendizaje de otras formas de explotación de la naturaleza más sustentables, locales y de generación de biodiversidad. Debido a los intereses involucrados y a lo avanzado que va el cultivo de OGMs con rasgos de interés agronómico exclusivamente, parece difícil que la balanza vaya a inclinarse hacia un escenario más sustentable. Lo que debe exigirse, entonces, es cambiar el acercamiento que tenemos hacia estas tecnologías y si no hay forma de remediarlo, proceder con precaución.

PRINCIPIO DE PRECAUCIÓN COMO POSIBLE HERRAMIENTA

Claramente, hay necesidad de una agenda regulatoria y de investigación más comprensible, transparente y precautoria para los cultivos GMs. Las regulaciones deben tratar con la novedad, la incertidumbre y los riesgos de liberar OGMs al ambiente y a los sistemas alimenticios, y deben integrar cuidadosamente valoraciones caso por caso con análisis a nivel de sistemas (Barrett, 2000).

En la controversia social en torno a los transgénicos se ha recurrido a diferentes interpretaciones del "principio de precaución". Este principio nos dice que cuando una actividad representa una amenaza para la salud humana o para el medio ambiente, deben tomarse medidas precautorias aun cuando algunas relaciones de causa y efecto no hayan sido totalmente determinadas de manera científica. Ello implica que, en este caso en particular, debió haberse analizado el grupo de alternativas para elegir la más segura. Una elección gesta un modelo tecnológico que termina haciéndose realidad no por razones tecnológicas (o no sólo por estas razones), sino económicas, políticas, y científicas también. Por lo general, el modelo elegido no es el único disponible; en más de una ocasión, existen otros que tal vez son más adecuados y seguros, pero las decisiones se toman con base en cadenas de producción ya

establecidas en un mercado existente o con gran potencialidad; factores que subordinan o influyen el rumbo de la investigación científica y tecnocientífica, y que se justifican mediante discursos sociales (en los que participan otras disciplinas como la mercadotecnia). En este caso se trata de un discurso pro-innovación, de "salvar al mundo" (por los beneficios prometidos de los OGMs), y que cuenta con el aval de la investigación científica de "vanguardia". Por eso, los biotecnólogos que siguen esta línea de pensamiento argumentan que es anti-ético y anti-científico oponerse a la creación y comercialización de OGMs, así como a la correspondiente generación de patentes sobre esta tecnología, y que va contra el bien común tratar de argumentar que éstas no son necesarias, y que en realidad no se requiere más vigilancia para una tecnología como esta, porque son suficientemente seguras. Pero esto parece no seguirse, por todo lo anterior. Las posibles consecuencias de este discurso y de la tecnología alrededor de la cual gira pueden acrecentar la necesidad de mecanismos de regulación como el principio de precaución, con el fin de asegurar la eficiencia misma de la tecnología relacionada con los OGMs. En este sentido, regulaciones internacionales como las del Protocolo de Cartagena sobre Bioseguridad contemplan la utilización de mecanismos de regulación de organismos genéticamente modificados, que se basan en el principio de precaución. Es importante recordar que nuestro país es firmante de, y ratificó, dicho Protocolo, y que en teoría, nuestra Ley de Bioseguridad sobre Organismos Genéticamente Modificados fue redactada en función del Protocolo y con un enfoque precautorio.

En países desarrollados, como los pertenecientes a la Unión Europea (UE), la participación pública aunada a recomendaciones producidas interdisciplinariamente por diversos grupos de expertos y gestores ha logrado la creación de políticas de regulación muy diferentes a las existentes (en los casos donde estas políticas de hecho existen) en los países en desarrollo, donde estos mecanismos prácticamente no se toman en cuenta para la creación de legislaciones y políticas. Los OGMs, sin embargo, al menos en su variante vegetal y de uso comercial requieren tener una regulación participativa e incluyente en virtud de varias de sus características. La situación actual implica el reconocimiento de interacciones altamente complejas entre muchos sistemas (incluyendo sistemas sociales, ecológicos y de valores) de tal manera que la creación de políticas públicas adecuadas no requiere simplemente más investigación y más regulación (Barrett y Flora, 2000). Es fundamental, para el caso de la regulación y monitoreo de los OGMs, el operar mediante mecanismos de participación ciudadana. Sin embargo, para que ésta se logre de manera exitosa, tiene que haber un

importante aumento en los niveles y calidad de educación de aquéllos que van a participar, lo que implica (aunque no exclusivamente) una amplia capacidad de acceso a la información y discriminación de ésta, para lograr tomar las decisiones más informadas que sea posible. Además, se tiene que pugnar por la distribución y enseñanza de una representación de la ciencia lo más objetiva y menos ideológica posible (siguiendo las distinciones de Olivé, 2007), para fomentar precisamente esa cultura tecnológica y científica adecuada que la participación ciudadana en un caso tan delicado como el de los OGMs requiere.

BIBLIOGRAFÍA

- Aarden, E. 2009. "The socialization of scientific and technological research". *Journal of Science Communication* 8(3).
- Aibar Puentes, E. 2002. "Controversias tecnocientíficas públicas: la pericia no es siempre suficiente". *Digithum* 4.
- Allarakhia, M.; A. Wenseley. 2005. "Innovation and intellectual property rights in systems biology". *Nature Biotechnology* 23(12).
- Álvarez-Buylla, E., A. Piñeyro-Nelson. 2008-2009. "Riesgos y peligros de la dispersión de maíz transgénico en México" *Revista Ciencias* 92-93:82-96.
- Azevedo, J.L.; W.L. Araujo. 2003. "Genetically modified crops: environmental and human health concerns". *Mutation Research* 544: 223–233.
- Barrett, K. 2000. "Applying the precautionary principle to agricultural biotechnology". SEHN.
- Barrett, K.; G. Flora. 2000. "Genetic engineering and the Precautionary Principle. Information for Extension". SEHN, Institute for Agriculture and Trade Policy.
- Bendekgey, L.; D. Hamlet-Cox. 2002. "Gene Patents and Innovation". *Academic Medicine* 77(12) pt. 2.
- Bhardwaj, M., 2006. "Looking back, looking beyond: revisiting the ethics of genome generation"; *Journal of Biosciences* 31:167–176.
- Brown N.; Michael M.- 2001. "Transgenics, uncertainty and public credibility". *Transgenic Research* 10: 279–283.
- Burrell, R.; S. Hubicki. 2005. "Patent liability and genetic drift". *Environmental Law Review* 7:278-286.

-Carter, L. 2004. "Re-interpreting some common objections to three transgenic applications: GM foods, xenotransplantation and germ line gene modification (GLGM)". *Transgenic Research* 13: 583–591.

-Cassman, K.G.; A.J. Liska. 2007. "Food and fuel for all: realistic or foolish?" *Biofuels, Bioproducts and Biorefining* 1(1):18–23.

-da Silva Medeiros, F.N. 2006. "Convergent discourses: neoliberalism, technoscience and journalism". *JCOM*.

-Davies, K.G. 2000. "Creative tension: What links Aristotle, William Blake, Darwin and GM crops?" *Nature* 407.

-de Melo-Martin, I. 2005. "Firing up the nature/nurture controversy: bioethics and genetic determinism". *Journal of Medical Ethics* 31:526–530.

-de Melo-Martin, I.; Z. Meghani. 2008. "Beyond risk: A more realistic risk–benefit analysis of agricultural biotechnologies". *EMBO Reports* 9(4).

-Delmer, D.P. 2005. "Agriculture in the developing world: Connecting innovations in plant research to downstream applications" *PNAS* 102(44): 15739–15746.

-Dixon, B. 2003. "Genes in food – why the furore?". *Biochemical Society Transactions* 31 pt. 2.

-Duan, J.J. *et al.* 2008. "A Meta-Analysis of Effects of Bt Crops on Honey Bees (Hymenoptera: Apidae)". *PLoS ONE* 3(1).

- Echeverría, J. *La Revolución Tecnocientífica*, FCE. Madrid, 2003.

-Elliott, G.C. 2002. "A Brief Guide to Understanding Patentability and the Meaning of Patents". *Academic Medicine* 77(12) pt. 2:1309–1314.

-Evenson, R.E. 1999. "Global and local implications of biotechnology and climate change for future food supplies". *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96:5921–5928.

-FAO, 2001. "Genetically modified organisms, consumers, food safety and the environment." FAO Ethics Series, Roma, en:

<http://www.fao.org/DOCREP/003/X9602E/x9602e00.htm#TopOfPage>

-FAO, 2003. IPM, en:

<http://www.fao.org/waicent/FaoInfo/Agricult/AGP/AGPP/IPM/Default.htm>

- [-Fedoroff, N.V., J.E. Cohen. 1999. "Plants and population: Is there time?" *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96:5903–5907.](#)
- [-Feenberg, A. 2009. "Science, technology and democracy: Distinctions and connections". *Forum Mondial Sciences et Democratie*.](#)
- [-Feldman, M.A., N. Lowe. 2008. "Consensus from Controversy: Cambridge's Biosafety Ordinance and the Anchoring of the Biotech Industry". *European Planning Studies* 16\(3\).](#)
- [-Fielder, J. 1997. "Patenting Biotechnology: Ethical and philosophical issues". *IEEE Engineering in Medicine and Biology*. Nov/Dec:118-120](#)
- [-Fleck, B.; C. Baldock. 2003. "Intellectual property protection for plant-related inventions in Europe". *Nature Reviews Genetics* 4:834-838](#)
- [-Fonte, M. 2002. "Food Systems, Consumption Models and Risk Perception in Late Modernity". *International Journal of Sociology of Agriculture and Food* 10\(1\):13-21.](#)
- [-Fox, J. 2001. "Canadian farmer found guilty of Monsanto canola patent infringement" *Nature Biotechnology* 19](#)
- [-Franco, M.L.; J.F. Cediél; C. Payán. 2008. "Breve historia de la bioinformática". *Colombia Médica* 39\(1\).](#)
- [-Fritze, D.; V. 2001. "Deposition of biological material for patent protection in biotechnology". *Applied Microbiology and Biotechnology* 57:443–450](#)
- [-Gaugitsch, H. 2002. "Experience with environmental issues in GM crop production and the likely future scenarios". *Toxicology Letters* 127: 351–357.](#)
- [-Gereffi, G.; M. Christian. 2008. "Food Production Systems, Trade, and Transnational Corporations: A Global Value Chains Approach to Consumption and Healthy Diets". *Reporte preparado para el Centre on globalization, governance and competitiveness del Social Science Research Institute de la Universidad de Duke*, consultado en enero de 2012 en \[http://www.cggc.duke.edu/db_research.php?cat=gh\]\(http://www.cggc.duke.edu/db_research.php?cat=gh\)](#)
- [-Goklany, I. 2000. "Applying the precautionary principle to genetically modified crops." *Center for the study of American business. Weidenbaum Center Working paper # PS 157*, en \[http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=246530\]\(http://papers.ssrn.com/paper.taf?abstract_id=246530\)](#)

[-Gold, E.R. et al. 2002. "Needed: models of biotechnology intellectual property". *TRENDS in Biotechnology* 20\(8\): 327 – 329.](#)

[-Gopo, J.; P. Kameri-Mbote. "Biotechnology: A Turning Point in Development or an Opportunity that Will Be Missed?" en Meléndez-Ortiz, R. *Trading in Genes : Development Perspectives on Biotechnology, Trade and Sustainability*. Earthscan Publications, Limited. Londres. 2003. p 37.](#)

-Grabowski, H. 2008. "Follow-on biologics: data exclusivity and the balance between innovation and competition". *Nature Reviews Drug Discovery* 7: 479-488

[-Greenpeace. 2008. Patentes en semillas y plantas: una amenaza a los productores mexicanos.](#) Hoja informativa Febrero 2008 en: www.greenpeace.org.mx

-Griffiths, P.E. "The Fearless Vampire Conservator: Philip Kitcher, Genetic Determinism and the Informational Gene". En Neumann-Held, E. M y C. Rehmann-Sutter. *Genes in development: rereading the molecular paradigm*. Duke University Press, Durham, NC, 2006.

-Griffiths, P.E. y K. Stotz. 2007. "Genetic Information: A Metaphor in Search of a Theory" *Philosophy of Science* 68(3): 394–412.

[-Gutierrez, R.M.; E. Merino. "Genes, genomas y metagenomas: de Mendel a Venter" en: Lopez-Munguia, A. *Una ventana al quehacer científico*. Instituto de Biotecnología de la UNAM 25 aniversario. Mexico, D.F. 2008. p. 70-80.](#)

[-Hackett, P. 2002. "Genetic engineering: What are we fearing?" *Transgenic Research* 11: 97–99.](#)

[-Harlander, S. K. 2002. "Safety Assessments and Public Concern for Genetically Modified Food Products: The American View." *Toxicologic Pathology* 30\(1\): 132–134.](#)

- Hendrickson, M. et al. 2001. "Report to the National Farmers Union: Consolidation In Food Retailing And Dairy: Implications for Farmers and Consumers in a Global Food System. *National Farmers Union*.

[-Hoedemaekers, R. 2001. "Commercialization, Patents and Moral Assessment of Biotechnology Products". *Journal of Medicine and Philosophy* 26\(3\): 273-284](#)

[-Hopkins, M.M et al. 2007. "DNA patenting: the end of an era?". *Nature Biotechnology* 25: 185-187.](#)

[-Hull, D.L. *Philosophy of Biological Science*. Prentice Hall. New Jersey, 1974.](#)

-Human Genome Project Information (HGPI). 2003. "Genetically Modified Foods and Organisms", en:

http://www.ornl.gov/sci/techresources/Human_Genome/elsi/gmfood.shtml

-Ingeborg Myhr, A.; T. Traavik. 2003. "Genetically modified (GM) crops: precautionary science and conflicts of interests". *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 16: [227–247](#).

[-Janis, M.D.; J.P. Kesan. 2002. "Intellectual property protection for plant innovation: Unresolved issues after J.E.M. v. Pioneer". *Nature Biotechnology* 20.](#)

[-Jordan, N. et al. 2007. "Sustainable Development of the Agricultural Bio-Economy" *Science* 316: 1570-1571](#)

[-Kauffman, S. "La explicación por articulación de partes en la biología y su búsqueda racional". En: Martínez, S. y Barahona, A. *Historia y explicación en biología*. UNAM/FCE. México. 1998.](#)

[-Kellenberger, E. 2004. "The evolution of molecular biology". *EMBO reports* 5\(6\).](#)

[-Kenneth Waters, C. 1990. "Why the antireductionist consensus won't survive the case of classical Mendelian genetics". *PSA* 1: 125-139.](#)

[-Kirschenbaum, S.R. 2002. "Patenting basic research: myths and realities". *Nature Neuroscience* 5:1025-1027.](#)

[-Kitcher, P. 1984. "1953 and all that: a tale of two sciences". *Philosophical review* 93:335-373.](#)

[-König, A. et al. 2004. "Assessment of the safety of foods derived from genetically modified \(GM\) crops". *Food and Chemical Toxicology* 42:1047–1088.](#)

[-Kornberg, A. *La hélice de oro*. Universidad Nacional de Quilmes Ediciones. Argentina. 2001.](#)

[-Closing in on Biopiracy: Legal Dilemmas and Opportunities for the South Jakkrit Kuanpoth en Meléndez-Ortiz, Ricardo. *Trading in Genes: Development Perspectives on Biotechnology, Trade and Sustainability*. Earthscan Publications, Limited, London, GBR. 2003. p 139.](#)

[-Kumar Parida, D.; R. Mehdiratta; G. Saberwal. 2008. "How many patents does a biopharmaceutical company need?" *Nature Biotechnology* 26\(7\).](#)

-Library of Congress, Congressional Service Report. 2006. "World Trade Organization Dispute: Background and Perspectives International Debates: Agricultural Biotechnology: The U.S.-EU Dispute".

[-Linares, J. *Ética y mundo tecnológico*. Fondo de Cultura Económica. México. 2008.](#)

[-Linares, J. 2009. "Controversias tecnocientíficas y valoración global del riesgo". *Theoria*.](#)

-Lipton, P. "Genetic and Generic Determinism: A New Threat to Free Will?" en Rees, D.; S. Rose (eds). *The New Brain Sciences: Perils and Prospects*. Cambridge University Press. UK. 2004. pp. 88-100.

[-Losey, J.E.; L.S. Rayor; M.E. Carter. 1999. "Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae". *Nature* 399: 214.](#)

[-Macer, D. 1997. "Playing God or feeding humanity?". *UNESCO Sources* 94.](#)

[-Macilwain, C. 2000. "US academy study finds GM foods are safe". *Nature* 404](#)

-Magdoff, F.; H. van Es. *Building Soils for Better Crops. Sustainable Soil Management*. Sustainable Agriculture Network. 3ra edición. 2009.

-Matson, P.A. *et al.* 1997. "Agricultural Intensification and Ecosystem Properties". *Science* 277.

-Mendelsohn, M., J. Kough, Z. Vaituzis, K. Matthews. 2003. "Are *Bt* crops safe?" *Nature Biotechnology* 21: 1003 – 1009.

-Michaels, D. *Doubt Is Their Product: How Industry's Assault on Science Threatens Your Health*. Oxford University Press. NY. 2008.

-Millstone, E., E. Brunner, S. Mayer. 1999. "Beyond 'substantial equivalence'". *Nature* 401

-Muller, B. 2006. "Introduction: GMOs—global objects of contention" *Focaal—European Journal of Anthropology* 48 : 3-16.

-Murashige, K. 2002. "Patents and Research—An Uneasy Alliance" *Academic Medicine*. 77(12, part 2):1329–1338.

-Ochoa, I.; J. Paniagua. 2006. "Patentabilidad de invenciones del campo de la biotecnología" *Gaceta Biomédicas*.

-Olivé, L. *La ciencia y la tecnología en la sociedad del conocimiento*. FCE. México. 2007. Capítulos 5 y 7.

-OPS/OMS. 2003. "Informe de la reunión regional sobre alimentos genéticamente modificados". De la 13.a Reunión Interamericana A Nivel Ministerial En Salud Y Agricultura, llevada a cabo en Washington, D.C., 24 al 25 abril 2003 y publicado el 7 de marzo del 2003.

-Pinzón, A.M. 2002. *Ecosistemas como sistemas complejos*. En <http://www.andrespinzon.com/tutos/ecomplejos.pdf#search='Andrés%20M.%20Pinzón'>

-Pretty, J. 2008. "Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence". *Philosophical Transactions of the Royal Society of Biology* 363: 447–465.

-Quintanilla, M.A. *Tecnología: un enfoque filosófico y otros ensayos de filosofía de la tecnología*. FCE. México. 2005.

-Quist, D., I. Chapela. 2001. "Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico". *Nature* 414: 541-543.

-Radder, H. 2004. "Exploiting abstract possibilities: a critique of the concept and practice of product patenting". *Journal of Agricultural and Environmental Ethics* 17: 275–29.

-Ramírez, R.; B. García; M. Santos. 2005. "Evolución del control biológico de acuerdo con el análisis de la información de patentes". *Revista de Protección Vegetal* 20(1): 50-55.

-Raney, T. 2006. "Economic impact of transgenic crops in developing countries". [*Current Opinion in Biotechnology* 17:174–178](#)

-Resnik, D.B., D.B. Vorhaus. 2006. "Genetic modification and genetic determinism". *Philosophy, Ethics, and Humanities in Medicine* 1:9.

-Riechmann, J. *Que son los alimentos transgénicos*. Ed. Integral. España. 2002.

-Roberts, P. *The end of food*. Mariner. EU. 2009.

-Rogers, M. D. 2003. "Risk analysis under uncertainty, the Precautionary Principle, and the new EU chemicals strategy". *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 37: 370-381

-Rommens, C.M. 2010. "Barriers and paths to market for genetically engineered crops". *Plant Biotechnology Journal* 8:101–111

- Rowland, I.R. 2002. "Nutritional aspects of food safety". *Proceedings of the Nutrition Society* 61.
- Rowland, I.R. 2002. Genetically modified foods, science, consumers and the media. *Proceedings of the Nutrition Society* 61:25-29
- Schubert, D. 2002. "A different perspective on GM food". *Nature Biotechnology* 20:969.
- Schubert, D. 2009. "Commercialized GM crops and yield". *Nature Biotechnology* 27(9).
- Schmidt, C.W. 2005. "Genetically Modified Foods: Breeding Uncertainty". *Environmental Health Perspectives* 113(8):526-533.
- Schimmelpfennig, D. 2004. "Agricultural Patents: Are They Developing Bad Habits?" *Choices* 19-23.
- Schipper, L.D.; T.K. Shackelford. "Determinism, Genetic". En Guha, M. *International Encyclopedia of the Social Sciences*. Londres. UK. 2008. 22(7) (2nd edition).
- Schmitz, A. 2004. "Controversies Over the Adoption of Genetically Modified Organisms: An Overview of the Special Issue". *Journal of Agricultural & Food Industrial Organization* 2.
- Schnepf, E. *et al.* 1998. "*Bacillus thuringiensis* and Its Pesticidal Crystal Proteins". *Microbiology and molecular biology reviews* 62(3):775-806
- Sechley, K.A.; H. Schroeder. 2002. "Intellectual property protection of plant biotechnology inventions". [TRENDS in Biotechnology 20\(11\)](#).
- Sermonti, G. 2005. "GMO, the last resort?" *Riv Biol* 98(1):9-12; 5-8.
- Shelton, A. M. 2003. "Considerations for conducting research in agricultural biotechnology". *Journal of Invertebrate Pathology* 83:110–112
- Spier, R. 2005. "Observations on a Meeting on the Ethics of Intellectual Property Rights and Patents". *Science and Engineering Ethics* 11:151-158.
- [Spurgeon, D. 2004. "Monsanto wins seven-year court battle for seed patent". *Nature* 429](#)
- Stanley-Horn D.E. *et al.* 2001. "Assessing the impact of Cry1Ab-expressing corn pollen on monarch butterfly larvae in field studies". *PNAS* 98(21):11931–11936.

- Strohman, R. 2001. "A new paradigm for life. Beyond genetic determinism." *California Monthly*.
 - Taşkin, B.G.; O. Ozdemir. 2006. "A life with transgenics in 21st century". *Journal of Cell and Molecular Biology* 5: 1-11.
 - Taylor, S. 2003. "Safety assessment of foods produced through agricultural biotechnology". *Nutrition Reviews* 61: S135-S140.
 - The Editors of *The New Atlantis*, 2008 "A Debate Still Patently Alive," *The New Atlantis* 20:155.
 - Tilman, D. *et al.* 2002. "Agricultural sustainability and intensive production practices". *Nature* 418:671-677.
 - UE, 2000. Facts on GMOs in the EU, en:
http://europa.eu.int/comm/dgs/health_consumer/library/press/press63_en.pdf
 - Whatmore, S.J. 2009. "Mapping knowledge controversies: science, democracy and the redistribution of expertise". *Progress in Human Geography* 33(5):587–598.
 - Welcha, R.M.; R.D. Graham. 1999. "A new paradigm for world agriculture: meeting human needs Productive, sustainable, nutritious". *Field Crops Research* 60:1-10.
 - Willison, D.J.; S.M. MacLeod. 2002. "Patenting of genetic material: Are the benefits to society being realized?" *CMAJ* 167(3):259-262.
 - WIPO. Preguntas Frecuentemente [Formuladas, en www.wipo.int](http://www.wipo.int) revisado en diciembre, 2010.
 - Wisniewski, J.P. *et al.* 2002. "Between myth and reality: genetically modified maize, an example of a sizeable scientific controversy". *Biochimie* 84:1095–1103.
 - Wu, F. *Future of Genetically Modified Crops : Lessons from the Green Revolution.*
- The Rand Corporation. Santa Monica, CA, USA. 2004.

WEB

<http://www.cimmyt.org/ABC/10-FAQaboutGMOs/htm/10-FAQaboutGMOs-Spanish.htm>

<http://www.sac.ac.uk/info/External/Publications/GMOs.asp>

<http://supreme.justia.com/us/447/303/case.html>

<http://www.nysaes.cornell.edu/comm/gmo//PDF/GMO2002.pdf>