



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

TRANSGÉNICOS DE TERCERA GENERACIÓN:
EL USO DEL MAÍZ COMO BIORREACTOR
EN MÉXICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA
P R E S E N T A

WENDY CANO DOMÍNGUEZ

DIRECTORES: DRA. MA. AMANDA GALVEZ MAIRISCAL
DR. ADOLFO OLEA FRANCO



MÉXICO, D. F.

2005

un: 349412



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

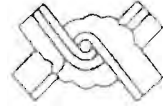
DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES FILOSÓFICAS

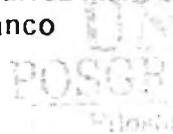


TRANSGÉNICOS DE TERCERA GENERACIÓN: EL USO DEL MAÍZ COMO BIORREACTOR EN MÉXICO

Maestría en Filosofía de la Ciencia

Wendy Cano Domínguez

Directores: Dra. Ma. Amanda Gálvez Mariscal
Dr. Adolfo Olea Franco



México, D.F., julio de 2005

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Wendy Cano Domínguez

FECHA: 27 de Julio de 2005

FIRMA: Wendy Cano Domínguez

Agradecimientos

Llegué al posgrado de Filosofía de la Ciencia "por culpa" del que fuera mi profesor de "Profesionalización de la Biología" en la FES-Iztacala Fabricio González Soriano. Ya aceptada en otros dos posgrados de "ciencia básica" en el último momento, el último día para la admisión de documentos en el IIF, llevé junto con mi papá mis documentos y todavía no sé bien por qué factores y razones me quedé en el "nuevo" posgrado de Filosofía de la Ciencia.

Posteriormente fue gracias a la Dra. Ana Rosa Pérez la que me recomendó trabajar mi tesis con la Dra. Amanda Gálvez Maíscal por el conocimiento e interés que ella poseé del tema de "transgénicos" y sus implicaciones. Fue gracias a ella como contacte a la Dra. Amanda y tras perseguirla por parte de la República Mexicana, fue en Oaxaca (Sept. 2003) durante el Taller de "Flujo Genético: Qué significa para la biodiversidad y los centros de origen" que finalmente la contacte en persona para invitarla a ser mi tutora. Gustosamente aceptó y resultado de esa tutoría es esta "tesina".

Al Dr. Adolfo Olea Franco tuve la oportunidad de conocerlo como profesor de un módulo de la materia de "Historia de la Ciencia" en el posgrado, posteriormente el Dr. Carlos López Beltrán sugirió que para evitar que el presente trabajo fuera muy "técnico" y "científico" adoptara como cotutor al Dr. Adolfo, quien guiaría por el buen camino histórico-filosófico a los "transgénicos".

La Dra. Rosa Luz González, amiga y compañera de la Dra. Amanda (las redes se van formando), fue un gran apoyo en la realización del trabajo y gracias a su tiempo, clases, asesorías y consejos incondicionales me permitió iniciar la escritura del texto y el feliz término del mismo. Es una de las pocas personas que conozco que dan su tiempo incondicionalmente y a la cual estoy muy agradecida.

Para la lectura final del trabajo y como consejeros insuperables conté con el apoyo del Dr. Jorge E. Campos Contreras y la Dra. Martha Martínez García quienes con sus comentarios me ayudaron a terminar felizmente tanto con la tesis, como con el posgrado. Además de haberme preparado tan bien a lo largo de la carrera y tras ya varios años de convivencia y cambios en nuestras vidas. Les agradezco mucho por estar cuando tanto los necesito.

Para la revisión del trabajo, los comentarios hechos por mis sinodales fueron trascendentales. Gracias a Mto. Fabricio González, Dra. Sandra Ramírez, Dra. Francisca Acevedo, Dr. Adolfo Olea y Dra. Amanda Gálvez.

A la Dra. Francisca Acevedo Gasman junto con la Dra. Amanda Gálvez por la invitación para participar en el grupo de Discusión de Bioseguridad, del cual aprendí que la pluralidad de puntos de vista y los consensos a veces son posibles.

A las mujeres trabajadoras del Programa Universitario de Alimentos (PUAL), gracias por el apoyo moral. A Alejandra Barrios y a Berenice por toda la información y tiempo compartidos.

A mis (ex) compañeros del Laboratorio de Bioquímica Molecular, por escuchar mis quejas sobre el posgrado y las experiencias de unas clases que nada tenían que ver con experimentos "de laboratorio". A Blanca, Paty, Lety, Irma, Jennifer, Ramón, Adriana, Amelia, Miguel, Monsalvo y a Estefany.

Lo que en un momento me parecía poco agradable y muy sufrible se volvió divertido gracias a Pato, Dennise, Liliana, Yui, Laura, Gisel y Frida (junto con Laurita). A Pato y Luzpi, agradezco su hospitalidad y en particular a Pato su apoyo para poder "divulgar". A Yuri por sus inigualables "brownies", a Dennise y a Laura por su "filosofía de la vida", a Liliana y a Frida por su compañía en la brecha final y el estrés del último semestre.

A Noemí por haber hecho de la burocracia algo más ameno, y a Sylvia por todos los correos y la información siempre pertinente.

A mis amigos y amigas. A Jennie, Andrés, Fabiola, Liliana Maruri, Jennifer, Lety, Luis Calderilla, Gerardo de Jesús, Miguel...

A Mi family: Capush, Sra. Má, Jol, Bo, Willy (& Co.), Skip (& family), Tío Prieto (& family). Tío Pepe (& family) y del lado de Sofá a mis tías, tíos, primas, primos y un sobrino...

A la familia Morales por compartir varias comidas y eventos familiares, en especial a las abuelitas Socorro y Carmen.

A René por compartir el tiempo de toda una maestría y próximamente la finalización de su doctorado. Por un feliz presente, un buen pasado y un sorpresivo futuro juntos.

A mi Petra, Gael, Isa, Chuty (y los ya finados)...

A todos gracias...

Becaria CONACYT: 181086 Sept. 2003- Ago. 2005

Becaria DGEP

Índice

	Págs
Resumen	ii
1. Introducción	1
1.1. Los objetivos del trabajo	5
2. Antecedentes	6
2.1. Los Organismos Genéticamente Modificados (OGM)	6
2.1.1. Transgénicos de primera y segunda generación	7
2.2. México como Centro de Origen y Diversidad (COD) del maíz	9
2.2.1. Aspectos biológicos	11
2.2.2. Aspectos culturales	11
2.2.3. Aspectos sociales	13
2.2.4. Aspectos políticos-económicos	15
3. Uso de los modelos en ciencia	18
3.1. Usos y aplicaciones de los modelos transgénicos	18
3.1.1. El maíz transgénico	21
3.2. Uso del maíz como modelo para la fabricación de productos	23
3.2.1. Beneficios del modelo	24
3.2.2. Riesgos del modelo	25
3.3. Comparación ente transgénicos	28
4. Discusión y conclusiones	38
4.1. Riesgo, incertidumbre e ignorancia	38
Bibliografía	49

Resumen

Recientemente mediante la ingeniería genética, las plantas se han utilizado como biofábricas o biorreactores para producir compuestos de interés farmacéutico. El uso del maíz como biorreactor (3ª generación) en México tiene características similares a los transgénicos de generaciones pasadas (1ª y 2ª generación), entre las que destacan el ser tecnologías extranjeras y de carácter privado (protegidas bajo patentes).

Utilizar al maíz como biorreactor en México tiene muchas desventajas, ya que es centro de origen y diversificación (COD) de maíz y otros cultivos, es considerado "custodio" del germoplasma del maíz y a la vez tiene una industria biotecnológica prometedora. Por lo que discutir sobre la introducción de una tecnología creada en un contexto diferente a México resulta trascendente.

El uso de los biorreactores como cualquier otra tecnología, no está libre de riesgos y el maíz utilizado como biorreactor es un sistema biotecnológico que produce social y ambientalmente efectos a corto, mediano y largo plazo, generando situaciones de riesgo, incertidumbre y/o ignorancia. Algunos fármacos derivados de plantas y algunos compuestos industriales tienen impacto en la salud humana y animal si llegan a estar presentes, intencional o no intencionalmente, en el alimento. Además, el uso de plantas de polinización abierta como el maíz acarrea problemas ambientales y situaciones de riesgo para los seres humanos. Por otro lado, las plantas cultivadas son patrimonio de la humanidad y de las próximas generaciones, por lo que patentarlas no da el derecho de hacer uso inadecuado de ellas y arriesgar a las personas y al patrimonio mismo.

1. Introducción

De manera general las aplicaciones de la biotecnología han traído importantes beneficios para la salud humana y animal, la producción de alimentos, el combate de la contaminación y la generación de nuevos productos útiles (Solleiro, 2004).

La biotecnología establece una íntima relación con diferentes áreas del saber científico, es un campo multidisciplinario caracterizado por el procesamiento industrial de materiales mediante organismos y otros agentes biológicos para producir bienes y servicios (Casas y Chauvet, 1996). En el artículo 2 del Convenio sobre Diversidad Biológica de la Naciones Unidas (CDB) la biotecnología es definida como "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos" (Agenda XXI, 1994).

Dado el potencial de la biotecnología, se consideró que conformaría un nuevo paradigma tecnológico para la agricultura con la capacidad de resolver problemas agronómicos, de almacenamiento y que permitía reparar los daños causados por el uso de agroquímicos (Chauvet *et al.*, 2004). La carta de presentación de la biotecnología agrícola era su armonía con el medio ambiente al diseñar semillas y variedades de vegetales transgénicos que tuvieran su propio bioinsecticida y biofertilizante útiles para disminuir el deterioro ambiental causado desde la revolución verde (Krimsky y Wrubel, 1996).

En un principio, las aplicaciones e investigación de la biotecnología en la agricultura habían sido desarrolladas por compañías pequeñas y laboratorios universitarios (con capital de riesgo y con fondos públicos, respectivamente). sin embargo, cuando sus resultados tuvieron una utilidad o aplicación, el interés comercial surgió y estos laboratorios no tuvieron la capacidad de inversión ni de escala para comercializarlos. Fue entonces que las grandes compañías farmacéuticas y de agroquímicos se interesaron por la agrobiotecnología (González, 2004). Interés que había surgido desde mediados de la década de 1980 cuando las transnacionales iniciaron la compra de las grandes compañías semilleras (Olea, 1997). Es entonces, cuando se plantea la posibilidad de obtener el producto en grandes cantidades para comercializarlo, pasando del modelo experimental al industrial, es decir, la ingeniería genética dio lugar a la industria biotecnológica (García, 2004).

En los países desarrollados la biotecnología en plantas ha sido el resultado de fuertes inversiones en investigación y desarrollo de gobiernos y empresas, también se suman los esfuerzos de promoción, regulación gubernamental y la participación de grupos sociales interesados en influenciar el rumbo de esta tecnología (Chauvet *et al.*, 2004).

En el ámbito mundial, las aplicaciones de la biotecnología tienen una influencia en la agricultura y el medio ambiente, sin embargo, las aplicaciones difieren de los países desarrollados a los subdesarrollados. Los intereses en juego son distintos por los entornos socioeconómicos en los que se desarrollan las agriculturas de un país a otro.

Por ejemplo, en las naciones industrializadas, donde la producción agrícola se encuentra fuertemente subsidiada, los efectos de la biotecnología tienen un espectro más amplio, desde el incremento en la productividad hasta la protesta de parte de los consumidores y los grupos ambientalistas que tienen preocupación por la liberación en los campos cultivados con plantas genéticamente modificadas por los posibles efectos que podrían tener estos organismos al interactuar con otros organismos del ecosistema. El rechazo a los cultivos transgénicos¹ ha frenado los planes de las empresas y ha hecho que modifiquen sus estrategias. Sus pronósticos de recuperación de las inversiones fueron erróneos, al no darse las condiciones de la demanda que dieran suficiente viabilidad comercial a sus productos (Walsh, 2000).

Fuera de su contexto de desarrollo, la biotecnología generó grandes expectativas para los pequeños productores de los países subdesarrollados². Se creía que esta tecnología ofrecía una ventaja sobre las tecnologías anteriores provenientes de la revolución verde al no requerir insumos adicionales y sólo necesitar a la semilla como medio de producción. No obstante, el tipo de problemas a los que responde la tecnología no es la adecuada para este tipo de productores. Además los recursos y organización social que prevalece en las comunidades de pequeños productores es muy diferente de lo que requiere la biotecnología agrícola para su desarrollo y difusión en estos ambientes, limitando las posibilidades de acción y aplicación de estas tecnologías (Chauvet *et al.*, 2004).

La aplicación y uso de la agrobiotecnología es sólo una parte de la problemática ya que la polémica respecto a los Organismos Genéticamente Modificados³ (OGM) cambia dependiendo del contexto en el que se utilicen, cada país y cada sector ha tenido reacciones diferentes hacia los OGM desde su aceptación, su rechazo o el desconocimiento total de estos organismos. Técnicamente, los efectos y posibles riesgos que los OGM pueden tener varían dependiendo de la construcción genética insertada, de la

¹ La palabra "transgénico" proviene de "trans" (cruzar de un lugar a otro) y "génico" (referido a los genes). Es todo organismo que tiene incorporado un gen exógeno (extraño).

² Las expectativas se generaron debido a la propaganda de las empresas transnacionales y a las "ventajas" que presentaban el uso de transgénicos, sin embargo, los campesinos no demandaron el uso de los transgénicos.

³ Los términos transgénico y organismo genéticamente modificado (OGM) son, en este trabajo, utilizados en ocasiones como sinónimos. Cabe aclarar que un transgénico es un OGM, pero no todo OGM es un transgénico.

biología del organismo receptor, de las condiciones ecológicas del sitio donde se pretenda introducirlo, así como de las capacidades de manejo y mitigación de riesgos de quienes lo van a utilizar o regular (Álvarez *et al.*, 1999). Por lo que para entender y evitar situaciones de riesgo, incertidumbre e ignorancia es necesario realizar estudios multidisciplinarios, además de divulgar y difundir los resultados de estos estudios. No obstante, el divulgar información de este tipo es difícil, sobre todo cuando no se tiene acceso a la información debido a que se encuentra protegida por patentes y a los diferentes intereses involucrados⁴. Además es importante considerar que el *ethos* científico⁵ es diferente al *ethos* empresarial, por lo que el manejo de la información para cada grupo es casi opuesto.

Particularmente en el caso de México, la Fundación México-Estados Unidos para la Ciencia y la Iniciativa Pew sobre Alimentos y Biotecnología han publicado varios informes en los que se analizan los posibles riesgos de los OGM. Estos informes han sido resultado de reuniones con expertos, investigadores científicos, politólogos, tecnólogos, representantes de ONG (Organizaciones no Gubernamentales) y ciudadanos en general, destacan: el "Informe del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental" y el informe resultado del taller "Maíz y Biodiversidad, efectos del maíz transgénico en México".

De manera general estos informes presentan las consecuencias y riesgos potenciales de la introducción de maíz transgénico en México entre los que se encuentran:

1. El peligro de introducir en un país megadiverso y Centro de Origen y Diversificación (COD) de muchas especies un OGM sin conocer las consecuencias de tipo biológico y ecológico que se puedan presentar.
2. El flujo genético de transgenes a especies nativas de maíz con un impacto negativo potencial (Quist y Chapela, 2001), resultando en una pérdida de diversidad.
3. El problema de cierre de mercados, como en el caso europeo donde se exige un etiquetado, hacia el maíz mexicano si no hay un control, revisado y etiquetado para verificar que no se trate de semillas o productos que provengan de un OGM.

⁴ El caso del artículo publicado por Quist y Chapela (2001) es un ejemplo de los intereses involucrados en relación a los transgénicos y el impacto que puede tener la información en diferentes sectores de la sociedad. Este artículo fue publicado en *Nature*: noviembre 2001, Vol. 414:541-543. Respecto a este trabajo la polémica fue tanta que suscitó controversia en el ámbito científico principalmente, se puede consultar la respuesta de *Nature* a los autores Vol. 416: 600 (2002), la respuesta de los autores en *Nature*, Vol. 416:601 (2002), y un artículo posterior en el que se analiza la problemática alrededor de la evaluación de la información para la publicación de temas controvertidos en las revistas científicas más "destacadas", *Nature*, octubre 2002, Vol. 419: 772-776.

⁵ El *ethos* científico en términos de Robert Merton considera a la ciencia como institución autónoma independiente del resto social, con sus propias normas y valores: universalismo, comunismo, desinterés y escepticismo desinteresado. Mientras que el *ethos* empresarial considera los valores económicos indispensables, como el óptimo uso de los recursos, la competitividad, la rentabilidad, el beneficio y la comercialidad, entre otros.

4. La modificación de los patrones culturales del mexicano con el maíz, no sólo como parte de su dieta, sino como un elemento de identidad social.
5. Los cambios inesperados con las posibles consecuencias en la salud humana al no satisfacer el principio de inocuidad alimentaria.
6. Un sistema incompetente o de reciente creación de instituciones y expertos para evaluar los riesgos y beneficios del uso de OGM.

Para evitar los riesgos posibles es necesario regular diferentes aspectos en torno a los OGM. La regulación que se ha hecho en México considera la importancia de la biodiversidad del país, así como acuerdos internacionales que tiene en relación a la agrobiotecnología. Estas regulaciones están basadas en el Protocolo Internacional de Bioseguridad y otros convenios internacionales. En México se cuenta con regulaciones como la Norma Oficial Mexicana NOM-056-FITO-1995 que vigila ensayos en campo e inspección de sitios experimentales, pero no cubre las aplicaciones comerciales o a gran escala, ni el procesamiento de granos para producción de alimentos, por lo que el 15 de febrero de 2005 se aprobó la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados y el 18 de marzo de 2005 se publicó en el Diario Oficial de la Federación (DOF) (DOF, 2005).

El problema de los OGM en la agricultura mexicana pareciera tener una posible solución con el establecimiento de las regulaciones por parte del gobierno mexicano. Sin embargo, los rápidos cambios científicos y tecnológicos hacen que las leyes estipuladas no sean efectivas⁶ y resulten ambiguas en algunos casos, sobre todo si no se logran las reglas y normas bien acotadas a la problemática nacional. En el caso específico del maíz modificado genéticamente, las situaciones en juego son muchas, como ya se refirió anteriormente no se trata de tecnologías sencillas, pues están involucrados gran cantidad de actores y se deben considerar diferentes variables. Una de las principales preguntas de esta investigación es: ¿Qué pasa cuando el maíz es modificado genéticamente no para resistir condiciones climáticas adversas o presentar resistencia a patógenos y plagas, sino que es modificado para ser *utilizado* como biorreactor?

⁶ El rápido cambio de la ciencia y la tecnología es sólo una causa de que no sean del todo efectivas las leyes o sean ambiguas, la situación de México es difícil porque la mayoría de las leyes no se cumplen y la corrupción, la falta de valores y de interés hace que el cumplir las leyes sea complicado. Además los tomadores de decisiones no siempre cuentan con la información adecuada y el compromiso para estipular correctamente las leyes.

1.1. Los objetivos del trabajo

Una vez definido el panorama general y algunos antecedentes del uso y aplicación de la biotecnología, la introducción al campo de variedades genéticamente modificadas, los riesgos de introducir maíz transgénico a un país que es su COD y las regulaciones actuales, es importante establecer los objetivos del presente trabajo:

- Revisar de manera general la creación, usos y aplicaciones de los transgénicos de primera y segunda generación en México.
- Considerar los aspectos culturales, sociales, político-económicos y biológicos que originaron el desarrollo del maíz en México y por lo que ahora es reconocido como el COD del maíz.
- Revisar el uso y la utilidad de los modelos biológicos en la generación de OGM.
- Analizar el uso del maíz como biorreactor en México, sus posibles aplicaciones, beneficios y riesgos.
- Discutir sobre la introducción de una tecnología creada en un contexto diferente a México. Considerando que esta tecnología es de origen extranjero y de carácter privado, es decir se encuentra protegida bajo patentes.

De este modo se podrá demostrar que los impactos del uso de una tecnología creada en un contexto nacional, cultural, político y social particular, son diferentes al introducirlos en otro contexto. La discusión y las conclusiones giran en torno a la información y la participación de los diferentes actores en la toma de decisiones. Estas cuestiones se deben considerar para poder crear leyes adecuadas de acuerdo a las necesidades del país y considerar todas las opiniones sobre este tema, lo cual es necesario si lo que se desea es vivir en una sociedad auténticamente democrática⁷.

Los resultados de esta investigación pueden contribuir a tener un acercamiento con tecnologías actuales que se continúan modificando día a día y pueden servir de marco conceptual para futuros estudios.

⁷ A pesar de que México es un país democrático lo es únicamente en el discurso, la realidad es que no existe una participación activa de la ciudadanía en la toma de decisiones. En las sociedades modernas democráticas existe una convivencia de diferentes grupos sociales con diferentes visiones y diversos sistemas de valores en donde el diálogo entre las diferentes partes llevan a consensos en la toma de decisiones.

2. Antecedentes

Dos características que identifican a la "revolución genética"⁸ (Toledo, 2004) son la apertura global de los avances de la ingeniería genética y su importancia comercial. La biología molecular facilitó el acceso y la manipulación de la información genética de cualquier ser vivo de manera directa. Esta tecnología es también llamada DNA recombinante y hace posible introducir en cualquier ser vivo genes de interés provenientes de otras especies o géneros. Para el caso específico de plantas, Herrera y Martínez (2004) señalan que la obtención de plantas manipuladas genéticamente, representa uno de los medios más versátiles para la producción de vegetales mejorados⁹.

2.1. Los Organismos Genéticamente Modificados (OGM)

El Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología define a un OGM como: "cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna"¹⁰. Los OGM han sido manipulados en el laboratorio con la finalidad de modificar algunas de sus características específicas ya sea introduciendo una construcción genética de otro organismo, de la misma o de otra especie o género, o bien se trata de suprimir, modificar o hacer más dominante un gen del propio organismo.

Técnicamente, el poder introducir nueva información genética en una planta requiere de disponer de un método para la regeneración *in vitro* de la especie de interés y contar con un método de transformación eficiente para la misma (Herrera y Martínez, 2004), adquiriendo así, nuevas características diseñadas para responder a las condiciones a que serán expuestos. Los genes modificados o introducidos determinan la presencia específica de nuevas proteínas, haciendo distintivo a ese organismo. Son estas proteínas heterólogas las que permiten que los OGMs tengan las características novedosas que se buscan.

⁸ La revolución genética se dice que es la segunda versión de la "revolución verde". De la "Green Revolution" a la "Gene Revolution".

⁹ Según estos autores la mejora sería en el sentido de poder obtener cosechas más productivas y/o alimentos con más valor nutricional, sin embargo, esta mejora es la que los científicos consideran que todos los campesinos deseaban y que toda la gente deseaba esas características. El principal problema reside en que no se les pregunta a los consumidores de estos productos qué es lo que realmente necesitan, el sentido de "mejora" difiere dependiendo del actor, su situación y de sus necesidades específicas.

¹⁰ Definición presente en artículo tercero (g) del Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología. OGM (Organismo Genéticamente Modificado) es sinónimo de un OVM (Organismo Vivo Modificado), es decir, cualquier organismo vivo que posea una combinación nueva de material genético que se haya obtenido mediante la aplicación de la biotecnología moderna. OVM es el término usado en el Protocolo de Cartagena, se trata de los OGM que por estar vivos son capaces de transferir su material genético (DNA), lo cual puede imponer peligros al medio ambiente.

2.1.1. Transgénicos de primera y segunda generación

La primera generación de transgénicos está conformada por los organismos que tienen un comportamiento novedoso en el campo, como ser resistentes a insectos o tolerantes a herbicidas, esta primera generación fue también llamada *input trace*, la cual consiste en agregar a las variedades de cultivo la producción de la toxina *Bt*¹¹ (Chapela, 2005), principalmente. Están hechos con las técnicas más básicas de ingeniería genética en plantas y utilizan genes que codifican para resistencia a herbicidas o para la expresión de proteínas insecticidas. Su objetivo es modificar el uso de plaguicidas aplicados a los cultivos y de los agroquímicos (Fulponi, 2000). Es importante mencionar que son éstos los transgénicos actuales manejados a nivel comercial (James, 2005). El primer alimento transgénico fue el jitomate producido por Calgene, que en 1994 fue aceptado como una variedad con larga vida de anaquel, actualmente esa variedad está retirada del mercado¹².

Los cultivos transgénicos se producen de manera comercial desde 1995 y entre ellos hay cinco productos agrícolas principales: soya, algodón, maíz, trigo y canola, ya en 2002 se cultivaron arroz, calabaza y papaya genéticamente modificada¹³. Los cultivos transgénicos fueron rápidamente adoptados por los agricultores de países industrializados, convirtiéndose actualmente en un importante negocio para las compañías transnacionales. Estados Unidos, Canadá, Argentina y China son las principales naciones dedicadas a la siembra de transgénicos (James, 2000).

La segunda generación de semillas genéticamente modificadas fue las de *output trace*, principalmente en los nutraceuticos¹⁴, se refiere a la modificación de caracteres que están diseñados para cambiar su valor nutricional y reducir los costos de la industria del procesamiento de alimentos, pretende dar al consumidor, y no sólo al agricultor, ventajas por su uso. Se trata de cereales con un mayor contenido de aminoácidos indispensables, animales transgénicos que producen carne baja en grasa y colesterol, soya con triglicéridos cuyos ácidos grasos sufren menor enranciamiento, entre otros. Incluye la manipulación de cultivos para reducir los costos de energía, procesamiento y almacenaje de productos.

¹¹ *Bt* es el gen extraído de la bacteria de suelo *Bacillus thuringiensis* que codifica para proteínas cristalinas con propiedades insecticidas conocidas como δ -endotoxinas, que al ser ingeridas por los insectos, en su fase larvaria, ejercen su toxicidad mediante su unión a células intestinales del tracto digestivo ocasionando una lisis osmótica. Estas proteínas tienen una actividad específica, por ejemplo para los lepidópteros se activa Cry1Ab y con los coleópteros Cry3p1.

¹² Una de las razones por la cual se retiró del mercado fue por la poca aceptación que tuvo el producto por parte de los agricultores.

¹³ Es importante señalar que el maíz, el arroz, la papa y el trigo son considerados la base de la alimentación en el mundo por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En su versión modificada algunas de ellas se encuentran patentadas.

¹⁴ Los nutraceuticos tienen como objetivo mantener la salud en los seres humanos o animales. Son compuestos simples que están presentes de manera natural o son añadidos a los alimentos de consumo diario. Estos alimentos son llamados "alimentos funcionales".

como la modificación en la maduración de tomates para permitir una vida más larga de anaquel.

En general, las principales características que presentan los OGMs son: a) resistencia a virus, b) tolerancia a herbicidas, c) resistencia a insectos (*Bt*), d) tolerancia al aluminio, e) retardo en el proceso de maduración, f) tolerancia a la sequía, salinidad, frío (factores ambientales), g) Capacidad de fijación de nitrógeno, h) capacidad de incorporar más nutrientes, i) capacidad de tener una mejor biosíntesis, j) introducción de algún componente nutricional (como en el caso del arroz), entre otras.

Algunos de los beneficios con los que se presentan a los transgénicos de primera y segunda generación son:

- a) Haber un considerable incremento en la productividad de las cosechas obteniendo alimentos con una mejor calidad nutritiva.
- b) Haber un recorte de gastos por parte de los agricultores al reducir el uso de herbicidas y fertilizantes.
- c) Haber más y mejores opciones para los consumidores de elegir productos nutritivos.
- d) Haber un menor riesgo para las personas y el medio ambiente al ser los OGM "amigables" para el medio ambiente.
- e) Haber menos hambre, menos enfermedades, y una mejor calidad de vida al crear alimentos resistentes a condiciones ambientales adversas, resistentes a enfermedades y plagas, y sobre todo ricos en nutrientes.
- f) Lograr alcanzar la seguridad alimentaria y ayudar a los países en desarrollo a establecer sectores agrícolas sostenibles.

Hasta ahora, los OGMs comercializados sólo han presentado beneficios directos para los agricultores y no presentan ventajas claras para el consumidor. No obstante, los oponentes realizan campañas en contra de los OGMs, mientras que las empresas transnacionales informan sólo sobre las ventajas y beneficios de los OGMs, lo que ha llevado a que se de una polarización de opiniones basada en información poco científica y con un fondo político-ideológico opuesto dependiendo del interés que cada parte tenga. La opinión del público en estos temas está basada en última instancia en los consumidores individuales que realizan su propio análisis costo-beneficio. A menos que el consumidor pueda ver y apreciar de manera directa los beneficios de los OGM, cualquier riesgo que perciba, no importa la magnitud que tenga, se debe contraponer a los beneficios.

Los OGM y sus características novedosas han despertado controversias en torno a la seguridad en su utilización y liberación al ambiente; repercutiendo en los gobiernos que han definido implementar acciones importantes en materia de seguridad alimentaria y acceso a la tecnología especialmente para países de menor desarrollo (González, 2004). Una de las ventajas que se esperaba tener con el uso de las plantas genéticamente modificadas era la de reducir el uso de herbicidas y con ello evitar la contaminación de suelos y del alimento mismo, sin embargo, es importante señalar que el 72%¹⁵ de los transgénicos es resistente a herbicidas, por lo que la utilización de herbicidas ha ido en aumento (James, 2005).

Por otro lado, el desarrollo en este campo ha hecho que la ingeniería genética de plantas no sólo se haya aplicado para incrementar la producción y protección de cultivos agrícolas de interés humano, sino que ahora se encuentran en desarrollo proyectos para hacer que las plantas produzcan insumos de alto valor económico y ventajas ambientales, como vacunas, enzimas, alimentos con mejor valor nutricional, productos farmacéuticos, plásticos biodegradables y algunos otros productos industriales que no son alimenticios pero que son expresados, es decir, producidas en cereales como el maíz (Herrera y Martínez, 2004; Gálvez, 2004).

2.2. México como Centro de Origen y Diversificación (COD) del maíz

Varias regiones de Latinoamérica y el Caribe son reconocidas como importantes COD de plantas útiles y/o cultivadas como el tomate, papa, frijol, chile, calabaza, mandioca y maíz entre otras. Por su parte, México es considerado un país megadiverso, posee una cuantiosa biodiversidad y un notable grado de endemismos debido, en gran medida, a su ubicación geográfica, a su compleja topografía, enorme profusión de tipos de suelos y causas de tipo geológico. Los endemismos son de gran importancia, ya que si sucede su extinción de la zona en que habitan, está será definitiva (Challenger, 1998).

México es el COD del maíz y otros importantes cultivos además de ser un espacio importante de domesticación¹⁶ de plantas a nivel mundial (Gálvez *et al.*, 1999). Mediante el

¹⁵ En 2004 las variedades de maíz, algodón, canola y soya tolerantes a herbicidas ocuparon 58.6 millones de hectáreas cultivadas a nivel mundial, siendo ésta la característica dominante seguida de la resistencia a insectos. El aumento en el uso de herbicidas fue debido a que las compañías transnacionales venden paquetes agronómicos: la semilla, el herbicida, fertilizantes, etc. Se espera que al utilizar el herbicida incluido en el paquete se eliminen las malezas que crecen alrededor del cultivo y al ser la planta resistente a herbicidas no tiene alteración alguna. La utilización del herbicida en campo aumenta a la par del uso de la variedad manipulada genéticamente.

¹⁶ La domesticación es una consecuencia de la selección de características deseadas de ciertas plantas, resultado de una selección intencional de sus características preferidas a través del tiempo.

proceso de domesticación del maíz se logró desarrollar una planta robusta con grandes frutos (mazorca) envueltos en hojas que la protegen hasta la maduración, además de lograr difundir y diversificar diferentes variedades mediante este proceso (McClung, 1997).

El maíz es considerado como producto originario de México, existen tres teorías acerca de su origen¹⁷:

1. Mangelsdorf y Reeves (1959) sugieren a través de datos botánicos y arqueológicos que el maíz moderno evolucionó del maíz primitivo del tipo tunicado-palomero. Posteriormente, Mangelsdorf (1986) realizó pruebas de Carbono 14 a polen de maíz encontrado bajo la Ciudad de México, fechándolo hace 8,000 años.
2. Montgomery (1906) y Weatherwax (1935) sostienen que el maíz (*Zea mays*) y el teocinte¹⁸ evolucionaron de manera separada de un ancestro común.
3. Miranda (1966) considera que el maíz derivó del teocintle mediante mutaciones. La migración, recombinación genética y la selección (natural y humana) hicieron que estas se diferenciaran.

También se considera como COD a México por encontrarse los restos arqueológicos más antiguos de maíz¹⁹ y tener la mayor diversidad genética representada en las especies nativas y considerando que el teocintle sólo crece de manera silvestre en México y el norte de Centroamérica.

El cultivo de maíz en México está adaptado a las muy diversas condiciones climatológicas de la región, ya que posee una gran capacidad de adaptación que le permite desarrollarse en los más diversos tipos de climas, suelos y relieves (Reyna, 1970). De acuerdo con Olivo *et al.* (2001) y Benz (1997) existen aproximadamente 35 razas de maíz en México, mientras que de acuerdo con Ortega *et al.* (1991) hay más de 41 razas de maíz en el país, que son sembrados desde los trópicos semi-húmedos y húmedos, los bosques templados, hasta las zonas semi-desérticas, abarcando las más diversas condiciones ecogeográficas.

¹⁷ A pesar de contar con varias teorías sobre el origen del maíz durante más de 110 años, aún no se ha podido establecer con certeza a su primer ancestro. Para mayor referencia sobre el origen del maíz y las diferentes teorías existentes ver Álvarez del Castillo, 1991.

¹⁸ El teocinte más cercano filogenéticamente relacionado con *Z. mays* ssp. *mays* es *Z. mays* ssp. *mexicana* (Schrader) que fue previamente clasificado como *Euchlaena mexicana*, *Zea mexicana*.

¹⁹ Fueron hallados en las cuevas del Valle de Tehuacán en Puebla y fueron datadas como del año 7000 a.C.

2.2.1. Aspectos biológicos

Técnicamente (taxonómicamente), el maíz pertenece a la familia de las gramíneas, su nombre científico es *Zea mays* (Hernández-Xolocotzi y Flores, 1971, Warman, 1988). Es una planta anual, con el tallo recto, erguido, sin ramificaciones. Sus inflorescencias masculinas y femeninas se encuentran en la misma planta, siendo monoica de polinización abierta²⁰ y de reproducción halógama (híbrida). Esta característica es dada por el anacronismo entre la fertilidad masculina y femenina de la planta por lo que su reproducción no es tan sencilla, deben darse las condiciones necesarias para que el momento de maduración femenina de una planta coincida con la de una masculina y el polen se encuentre disponible. Es más sencillo que esto ocurra si existe una población mínima de maíz. Sin embargo, la variabilidad genética del maíz de cada raza permite la obtención de cosechas en diferentes momentos del año gracias a los diferentes ciclos y a los tiempos de maduración.

El maíz se utiliza integralmente y puede utilizarse también por sus propiedades medicinales, sobre todo en padecimientos de tipo renal, también se le considera como antiespasmódico y antihemorrágico (Bruneton, 1991).

El maíz es una planta domesticada, dependiente del hombre ya que no puede reproducirse de un año al siguiente sin la intervención humana que debe separar el totomoxtle²¹ que cubre la mazorca, separar los granos, sembrar las semillas en la época adecuada y cubrir las raíces adventicias de las plantas (Arellano, 1999).

2.2.2. Aspectos culturales

Las culturas mesoamericanas en sus interacciones con las plantas las han seleccionado y esto ha incrementado su variabilidad morfológica y genética (Nabhan, 1985, 1989). La variabilidad de las plantas posee un determinante genético pero también uno cultural. La manipulación que ha sufrido el maíz a lo largo del tiempo lo ha hecho adaptarse a los diferentes requerimientos sociales, biológicos y ecológicos de las culturas y ambientes específicos de cada región (Alarcón-Chaires, 2005). Es por esto que según Hernández-Xolocotzi y Flores (1971) es posible distinguir cierto patrón en la distribución de las razas de maíz según la cultura y el hábitat en que se desarrollan. Es claro que la amplia

²⁰ También llamada de auto polinización o polinización cruzada.

²¹ Totomoxtle es el nombre en náhuatl que utilizan los indígenas para denominar a las glumas o brácteas

variedad de maíz ha sido el resultado de una exitosa combinación de procesos naturales y culturales de selección y difusión.

La relación sociedad-naturaleza se representa claramente con el ejemplo del maíz donde existe una coevolución entre el maíz y los pueblos indígenas, dado por la domesticación del maíz por los pueblos o la domesticación de los pueblos por el maíz (Olivo *et al.*, 2001). En el mismo sentido, Areliano (1999) reconoce la hibridación del maíz entre su naturaleza y la cultura mesoamericana, creando una interdependencia entre ambas. De hecho no podría explicarse la diversidad del maíz sin la intervención del hombre, ni tampoco se podría haber dado el desarrollo de las culturas mesoamericanas como tal, sin la presencia del maíz.

Los grupos indígenas que aún mantienen su identidad cultural han contribuido a lo largo del tiempo a incrementar y conservar la diversidad de plantas²². La limpia de terrenos (muchas veces ubicados en laderas pronunciadas), la preparación de la tierra con herramientas simples (pico y barreta), la siembra de temporal y el consumo de maíz son características propias de la agricultura tradicional. Del maíz se utiliza toda la planta, se usa como follaje, se utilizan los tocones (tallo, raíces), el olote²³ (usado para desgranar el maíz), la mazorca y el grano (Reyes, 1990). Inclusive, algunas plagas del maíz como el hongo cuitiacoche, es uno de los más apreciados y consumidos en varios guisos, al igual que el gusano elotero que también es comestible (Barrios y Buenrostro, 1997).

El consumo del maíz se hace a partir de la nixtamalización²⁴ para la elaboración de tortillas, tamales, atoles y comidas preparadas con masa. Los hallazgos arqueológicos permiten afirmar que el maíz era tratado con cal desde la época prehispánica. Actualmente los lacandones (Chiapas), huaves (Oaxaca) y chontales (Oaxaca, Tabasco y Guerrero) preparan la cal con concha de ostión como lo hacían sus antepasados. En general, la cocina mexicana contemporánea tiene sus orígenes en las llamadas culturas del maíz y representa la rica cultura gastronómica que tiene como base al maíz (Olivo *et al.*, 2001).

²² Existe una estrecha relación entre los sitios con mayor biodiversidad y endemismos y la presencia de grupos indígenas. Aunque esta relación puede representar que estas zonas se encuentran mejor conservadas por la presencia de los indígenas, esto no quiere decir que en todos los casos se haga un manejo adecuado de los recursos, en muchas ocasiones sólo se hace uso de lo necesario para sobrevivir como mediante la recolección.

²³ El olote lo utilizan para hacer el llamado "burnito", rueda utilizada para desgranar el maíz.

²⁴ El proceso de nixtamalización consiste en hervir los granos de la mazorca con cal para luego molerlos y convertirlos en masa. Por el efecto de la cal se desprende el pericarpio, los granos se digieren mejor y aumenta el valor de los nutrientes, principalmente de la niacina.

2.2.3. Aspectos sociales

El cultivo del maíz representa una oportunidad de interacción con otras personas y la creación o fortalecimiento de vínculos sociales. Como lo menciona Olivo *et al.* (2001).

Entre los indígenas actuales, la producción de maíz es el eje que articula diferentes actividades productivas, además de reafirmar vínculos sociales y de parentesco, particularmente cuando la producción se canaliza al autoconsumo. La participación de la familia en su producción es trascendental para su buen éxito, y en ella están involucrados hombres y mujeres a los cuales se les ha asignado una tarea específica y con la cual entran en contacto desde sus primeros años. La producción de maíz permite la colaboración recíproca familiar y entre miembros de diferentes familias, lo cual cohesiona y da forma a las relaciones de la comunidad.

Las relaciones entre los campesinos indígenas permiten que exista una transferencia de conocimientos acerca del cultivo del maíz, el cual incluye conocimientos sobre el clima, el tipo de suelo apropiado para una raza en particular, las relaciones ecológicas en la milpa²⁵, los cultivos que puede sembrar junto con el maíz, etc. La milpa representa la integración de cultivos resultado de años de experiencia, se cultivan el frijol, calabaza, tomate, jitomate, chile, pitahaya, tuna, quelites, malva, pápalo, quintonil, cenizo, huauzontle, amaranto, romeritos, verdolagas y chayote. Toda esta información es transmitida de generación en generación y es el resultado de una experimentación empírica constante de sus antepasados. La aplicación de este conocimiento es importante para el éxito de la cosecha que dependerá de la selección de la variedad del maíz, del manejo que requiere y de las características ambientales presentes (Alarcón-Chaires, 2005).

Tradicionalmente, en México, se lleva a cabo la diversificación y rotación de cultivos y de sus variedades, así como el reciclaje de nutrientes y uso mínimo de productos químicos, haciendo que esta agricultura sea ideal para el aprovechamiento eficiente de la energía y la obtención de una dieta variada y abundante en nutrientes. Los policultivos requieren de una gran diversidad de recursos genéticos, ecológicos y culturales para producir una amplia variedad de productos básicos, utensilios domésticos, medicamentos,

²⁵ En náhuatl "milpa" quiere decir sembradío, lugar donde se siembra el maíz junto con el frijol, jitomate, calabaza y chile. La milpa es espacio indispensable para el sustento de millones de familias mexicanas, de su cultivo depende que haya alimento durante el año. Existen beneficios ecológicos al utilizar el sistema de la milpa, entre los que se encuentran: a) Tener gran diversidad de especies y de variedades de una especie, b) Interacciones simbióticas entre plantas, c) Utilización óptima de espacio, d) Utilización adecuada de tiempo, e) Mayor regulación y control de plagas y enfermedades, f) Mayor capacidad de enfrentar riesgos y limitaciones ante fenómenos climáticos, entre otros.

producción artesanal, entre otros. Entre las comunidades indígenas esta actividad es complementada con la recolección de alimentos silvestres, la caza, las actividades forestales, la pesca, y la ganadería, lo que contribuye significativamente a la nutrición. Estos sistemas agrícolas tradicionales han sobrevivido en las zonas alejadas de los centros urbanos donde es necesario desarrollar técnicas de manejo adecuadas para conservar la estabilidad y fertilidad de los suelos y mantener la productividad a largo plazo, para que los habitantes que dependen de estos recursos puedan seguir contando con este tipo de sistemas agrícolas. Sin embargo, la expansión de la agricultura moderna ha ocasionado el abandono de los métodos de producción tradicionales con el consecuente reemplazo de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas tradicionales por el monocultivo²⁶. En estos casos el monocultivo es incapaz de utilizar todo el espacio y los recursos disponibles en el nicho. Además del daño que provoca la utilización de agroquímicos y el deterioro del suelo por su utilización excesiva (Challenger, 1998).

El consumo de maíz en las zonas rurales desde los años setentas se ha mantenido constante a diferencia del consumo de frijol que ha decrecido a lo largo de los años. La población rural continúa alimentándose del maíz principalmente. Sin embargo, en las zonas urbanas la sustitución de estos alimentos por los "modelos de consumo estadounidense"²⁷ ha llevado a una disminución del consumo del maíz en parte de la población (Torres y Trápaga, 2000). En las ciudades la alimentación está fuertemente influenciada por la producción y venta de alimentos enlatados y comidas rápidas, sustituyendo los productos elaborados con maíz por productos de trigo (Torres, 2003). La mayor influencia se realiza a través de los medios masivos de comunicación que hacen que cambien los hábitos alimenticios en los grupos que tiene capacidad adquisitiva. La Cámara Nacional de la Industria del Maíz y la Tortilla ha mostrado datos dramáticos acerca de la disminución en un 26% en el consumo de tortillas en zonas urbanas debido principalmente a un consumo cada vez mayor de hamburguesas, pizzas y sopas precocidas (Hernández, 2004). A pesar de esto, el consumo de la tortilla no ha desaparecido.

²⁶ Durante la revolución verde el monocultivo se asociaba a la idea de progreso por la utilización de tecnologías "modernas". Sin embargo, los estudios ecológicos actuales y en general los problemas ambientales de la revolución verde, demuestran las ventajas del policultivo sobre el monocultivo (Toledo, 2004, 2005).

²⁷ Torres y Trápaga realizan un estudio sobre la alimentación del mexicano y resaltan las diferencias en los hábitos alimenticios entre el sector rural y urbano en México. Una constante para ambos sectores es el consumo del maíz en la dieta diaria del mexicano.

2.2.4. Aspectos político-económicos

De acuerdo con el informe del Secretariado de la Comisión para la Cooperación Ambiental (CCA), los elevados niveles de pobreza hacen que grandes porciones de la población dependan exclusivamente de la agricultura. En los policultivos que la mayor parte de los campesinos rurales trabaja, se encuentran plantas para autoconsumo como los quelites, el frijol, el chile, la calabaza y como planta principal el maíz. La cosecha y consumo de estos productos son la principal fuente de nutrientes para estas familias. De acuerdo con Héctor Bourges²⁸, el maíz aporta al consumidor un promedio del 40% de las proteínas diarias y 50% de la energía consumida por individuo. Asimismo, es la principal fuente de hierro, calcio, vitaminas y fibra. El consumo diario *per capita* de maíz en México varía de los 285g a los 480g por persona (Bourges y Lehrer, 2000).

El maíz blanco representa el producto más importante en la agricultura mexicana además de ser la base alimentaria. Es el principal ingrediente en las tortillas y tiene otros usos industriales como son la fabricación de alimentos como harinas, sémolas, aceites, cereales, almidón, alcohol etílico, acetona, cervezas, whisky y hasta combustibles para motor (Jugenheimer, 1981). De acuerdo con la Cámara Nacional del Maíz Industrializado existen 3500 aplicaciones industriales específicas para los subproductos del maíz (Acuña, 2005).

Económicamente la producción de maíz en México no puede competir en el mercado mundial. Según datos divulgados por el Centro de Estudios para el Cambio en el Campo Mexicano (CECAM) la producción anual de maíz es de 18 millones de toneladas, que representan el 50% de la superficie cultivable en México y en la que trabajan 3.2 millones de campesinos (Galán, 2001). Sin embargo, el mercado mundial está acaparado por Estados Unidos que posee casi el 70%. Además se debe considerar la abundancia relativa de tierras agrícolas en Estados Unidos contrastada a la abundancia relativa de mano de obra barata en México.

La mayoría de los economistas y politólogos ven al maíz de manera comparativa con otros países, generalmente países desarrollados. Por ejemplo, consideran que la ubicación geográfica de cada país (entre México y Estados Unidos) y su correspondencia topográfica y climática hacen que el rendimiento de las cosechas en México sea menor que el del país vecino. México por contar con "problemas topográficos" (laderas y pendientes)

²⁸ Entrevista realizada a Héctor Bourges, Subdirector General de Nutrición del Instituto Nacional de la Nutrición (INN) "Salvador Zubirán", en la Jornada. Suplemento de Investigación y Desarrollo, enero 1999.

en los campos de cultivos no puede competir con las "inmensas planicies cien por ciento mecanizables" en la que los paquetes tecnológicos modernos tienen éxito (Calva, 1991).

De acuerdo con Appendini (1992), los paquetes tecnológicos convencionales tienen un impacto negativo en la diversidad biológica de las zonas agrícolas por utilizar inadecuada e intensivamente los agroquímicos. Cuando estos paquetes tecnológicos, además de la introducción de maquinaria, son implementados en México la mayoría de ellos fracasan. Las principales razones de estos fracasos tecnológicos son adjudicados a la naturaleza del país, es decir a la carencia de terrenos planos y extensos como los estadounidenses²⁹. El uso de la tecnología entre estos dos países es contrastante. En el año 2000 en Estados Unidos contaban con 1.6 tractores por cada trabajador agrícola, mientras que México contaba con 2.1 tractores por cada 100 trabajadores. Esto se debe en gran medida a los pocos (o nulos) apoyos que existen de parte del gobierno en nuestro país, además de las precarias condiciones en que viven la mayor parte de los campesinos, aunado a que la mayor parte de las cosechas que se producen en México son para autoconsumo y gran parte de los campesinos son indígenas que habitan en zonas remotas e incomunicadas, por lo que no es factible que produzcan más de lo que pueden consumir, ya que el esfuerzo y gasto para llevarlo a vender es mayor y difícil de realizar. De hecho, en la producción anual nacional de maíz no es posible contabilizar la producción de autoconsumo, ya que las señales de satélite no reconocen las milpas por ser cada una de ellas heterogéneas y diferentes. La venta del maíz que proviene de poblaciones pequeñas se realiza en las cabeceras distritales, donde hay un cierto número de acaparadores que lo reciben y luego lo venden. Muchas veces el precio que ofrecen por el producto no es justo, porque imponen los precios de garantía establecidos oficialmente, por lo que los campesinos siempre están en desventaja. El uso de tractores en el campo mexicano no siempre es posible dada la pobreza de los campesinos y las costumbres que tienen de sembrar y muchas veces por la imposibilidad de usar tractores en las laderas. Por lo tanto, la mayor parte de los cultivos, sobre todo los huertos familiares y cultivos para autoconsumo son policultivos, mientras que en los países desarrollados se trabaja con monocultivos.

Otro punto que impide que México sea competitivo es la poca inversión en Investigación y Desarrollo (ID) de parte del gobierno y las empresas mexicanas. La migración, la economía polarizada y la escasez de políticas hacen que la situación del

²⁹ En vez de reconocer la biodiversidad que existe en México y sacarle el mayor provecho mediante la explotación, y conservación de los recursos naturales desde una perspectiva ambiental (Toledo, 1989 y Leff, 2000), se considera como una desventaja y se tratan de imitar las condiciones de otros países sin considerar las diferencias de contextos.

campo mexicano parezca no mejorar. Es importante recordar que gran parte de la descapitalización del campo en los últimos años en México se debe a las políticas estabilizadoras y de ajuste estructural, sostenidas bajo el argumento de cero intervención del gobierno en la economía, ocasionando que el Estado se retire del desarrollo rural para dejarlo bajo la regulación del mercado (Acuña, 2005). Aun más, en el 2008 todos los subsidios al campo se retiraran por considerarse no viables, y de acuerdo al Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLC³⁰) se realizará la compra de granos de consumo básico a Estados Unidos (Hernández, 2004).

³⁰ NAFTA por sus siglas en inglés, North American Free Trade Agreement.

3. Uso de los modelos en ciencia

A lo largo de la historia de la ciencia se reconoce la utilidad de experimentar con modelos para poder tener un mayor control sobre el proceso de experimentación y los resultados del mismo. Para que un organismo sea reconocido como un modelo útil debe ser sencillo, por ejemplo poseer un genoma pequeño, como el caso de la planta *Arabidopsis thaliana* o el gusano *Caenorhabditis elegans*. También deben ser de fácil manejo y consumir pocos insumos para que los costos de producción sean bajos, como en el caso de las bacterias. El almacenaje de los organismos que funcionen como modelo, debe ser en condiciones que no requieran tratamientos exhaustivos para su mantenimiento y reproducción. Para esto es necesario conocer con precisión el comportamiento del modelo para brindarle los requerimientos necesarios para vivir y reproducirse. Un ejemplo que reúne estas características son las levaduras por ser organismos eucariontes sencillos, de manejo experimental fácil y barato y que han permitido entender los procesos de multiplicación de las células eucarióticas.

En el caso específico del maíz su estudio es importante por razones que tocan los intereses de las ciencias naturales y las ciencias sociales. Los estudios biológicos del maíz han contribuido a la comprensión de los mecanismos genéticos y el establecimiento de las bases para la modificación genética vegetal (Jugenheimer, 1981). Mientras que en las ciencias sociales se han estudiado las relaciones que tiene el maíz con la mitología de las sociedades americanas, la producción, la formación de sistemas sociales, la cultura, las condiciones económicas y sociales de la sociedad campesina en Latinoamérica, entre otros (Warman, 1988).

3.1. Uso y aplicaciones de los modelos transgénicos

Recientemente, mediante la ingeniería genética, las plantas se han utilizado como biofábricas o biorreactores para producir diversos compuestos de interés farmacéutico. Esta puede considerarse como la tercera generación de OGM (Chapela, 2005; Kleter *et al.*, 2001). Estos productos se perciben en los países de alto poder adquisitivo como benéficos para la nutrición y para la salud, de hecho, lo consideran como una excelente idea para disminuir los costos de producción en países en desarrollo. Utilizar los cultivos de plantas con propósitos farmacéuticos es una aplicación reciente dentro del mercado, muy promisorio, de la biotecnología agrícola. Dado que la demanda de estos compuestos va en aumento en todo el mundo, el uso de esta tecnología se está extendiendo. También es mundialmente conocida como "Molecular Farming" refiriéndose a la producción a gran

escala de proteínas recombinantes en células u organismos, frecuentemente aplicados a los cultivos de plantas o animales domésticos utilizándolos como hospederos (Ma *et al.*, 2003).

El uso de reactores o biorreactores para la producción a nivel industrial de determinadas sustancias es común desde hace algunos años en diversos sistemas. Esto fue posible debido a que la mayoría de los genes de cualquier origen se puede expresar en sistemas heterólogos. El sistema de expresión ideal sería el que produce el material en mayor cantidad, más seguro y biológicamente más activo con el costo más bajo. El uso de células de mamíferos modificadas con técnicas de DNA recombinante tiene la ventaja de producir compuestos idénticos a los naturales; sin embargo, al utilizar células la cantidad de producto obtenido es menor, resulta ser más costoso y se puede realizar solamente en escala limitada (Gómez, 2001; Keeler, 2002). Actualmente hay un incremento en el interés sobre el uso de microalgas para aplicaciones biotecnológicas y como sistemas modelo en plantas. Varios investigadores y algunas compañías consideran el potencial de las microalgas como fábricas celulares verdes para la producción de metabolitos de valor agregado y proteínas heterólogas para aplicaciones farmacéuticas (León-Bañares *et al.*, 2004).

A pesar de que también los animales transgénicos y los hongos son utilizados para la producción de proteínas, son las plantas las que proveen los mayores beneficios económicos (Horn *et al.*, 2003). Además, es importante mencionar que el uso de animales para la obtención de proteínas u otros compuestos es más caro, conlleva a problemas significativos, como el diseminar alguna enfermedad con mayor facilidad y presenta preocupaciones sociales y la apertura de debates éticos sobre la protección a animales y la clonación.

El uso de diversas plantas para la producción de proteínas con potencial farmacéutico para uso animal y humano se ha llevado a cabo desde hace más de 13 años. Las primeras proteínas recombinantes obtenidas de plantas se produjeron en la planta del tabaco, extrayéndolas directamente de las hojas. El tabaco sigue siendo un buen modelo en el que se pueden realizar transformaciones y caracterizar elementos regulatorios para el control del transgen (Fisher *et al.*, 2004; Hood y Jilka, 1999; Daniell *et al.*, 2001; Hood y Howard, 2002).

Existen cuatro métodos que han demostrado su eficacia en la producción de proteínas en plantas:

1) la transformación nuclear estable de una especie de planta en el campo o en un invernadero, 2) la transformación de plastidios³¹ estables, 3) la transformación "transitoria"³² y 4) la transformación estable de plantas cultivadas en hidroponía como en el caso de las transproteínas que son secretadas en el medio para ser recuperadas posteriormente (Horn *et al.*, 2003).

La mayor parte de la investigación y desarrollo de la biotecnología asociada a plantas para uso farmacéutico se desarrolla en laboratorios e invernaderos. Sin embargo, en el año 2002 fueron otorgados permisos para la siembra y propagación de estas plantas para producir proteínas farmacéuticas en Estados Unidos³³ (Peterson y Amtzen, 2004) aunque de manera clandestina se experimenta en campos mexicanos y ha habido liberación de transgénicos a través de accidentes por experimentación desde los años ochenta (Chapela, 2005).

Algunas de las proteínas producidas en plantas son: el antígeno A de superficie de *Streptococcus mutans*, el antígeno de superficie de la hepatitis B, la enterotoxina de *Escherichia coli*, proteína de la cápside del virus *Norwalk*, colágeno humano, interferón- α y glicoproteína del virus de la rabia. Entre las plantas utilizadas para la producción de proteínas se encuentran el tabaco, la zanahoria, el tomate, el maíz, la papa, la alfalfa, la soya y el arroz (Peterson y Amtzen, 2004).

Recientemente se han desarrollado dos biotecnologías basadas en plantas para aprovechar la capacidad de sus raíces de absorber o secretar varias sustancias. La fitoextracción es útil para remover contaminantes del ambiente y la rizosecreción fue diseñada para producir y secretar productos naturales valiosos y proteínas recombinantes en sus raíces. Ambos procesos están encaminados a la remediación de ambientes perturbados (Gleba *et al.*, 1999).

A pesar de lo anterior existen algunas limitaciones en el uso del biorreactor, entre las que se incluyen las bajas concentraciones de proteínas que se obtienen (causadas generalmente por su baja estabilidad), dificultades de inconsistencia en la calidad de la proteína y la presencia de estructuras de glicanos no auténticos en proteínas humanas recombinantes. Estos problemas llevan a asuntos en la regulación y han prevenido la aprobación no informada de derivados de plantas biofarmacéuticas para su uso en tratamientos clínicos (Fisher *et al.*, 2004; Stein y Webber, 2001; Miele, 1997).

³¹ Transformación de organelos celulares, generalmente transformación de mitocondria o cloroplastos.

³² Se realiza la transformación en la planta para que esté presente mientras la planta se encuentre viva, no se da la transformación en semilla para evitar la propagación de esa característica modificada.

³³ Este permiso fue otorgado por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (United States Department of Agriculture, USDA).

Para explotar la capacidad biosintética total de los cultivos se requiere de un amplio conocimiento de las rutas metabólicas en plantas y los procesos regulatorios involucrados en la bioquímica de las plantas. Cuando una enzima es introducida en una nueva ruta metabólica, ésta debe poseer la suficiente afinidad a su sustrato y ser capaz de competir con las enzimas endógenas (Goddijn y Pen, 1995). La disponibilidad de genes estructurales y biosintéticos para rutas biosintéticas específicas, la mejora de los niveles de producción y el desarrollo de esta tecnología son los factores que han determinado los avances y éxito de estas aplicaciones de la biotecnología.

3.1.1. El maíz transgénico

Hasta los tiempos actuales, para obtener una mejora en las características del maíz, se ha utilizado el fitomejoramiento tradicional basado en la selección e hibridación de variedades de maíz. En un principio se realiza la selección de las características deseables para iniciar líneas nuevas más productivas que las anteriores. Las plantas que se cultivan son las que se obtienen por procesos de doble cruzamiento, donde a partir de dos híbridos se obtienen mejores variedades de semillas³⁴. Este proceso aumenta considerablemente el costo de las semillas mejoradas pero los altos costos se recompensan ya que los índices de rendimiento iniciales obtienen un aumento entre el 25 y 50%³⁵ (Muñoz, 2002).

Estos métodos convencionales de fitomejoramiento están basados en la transferencia de genes entre individuos de una misma especie o de especies para obtener una característica deseada. Una de las mejoras realizadas de esta manera en maíz es el QPM (Quality Protein Maize) que aporta más de cuatro veces la cantidad proteínica que aporta el maíz regular. Este maíz fue diseñado en el CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo) con maíz originario de Perú.

La biotecnología de las plantas genéticamente modificadas también incorpora genes que confieren nuevas características deseables a una planta pero en lugar de utilizar cruza utiliza técnicas de biología molecular e ingeniería genética para lograr esa transferencia. En la década de los ochenta se dio el primer ejemplo exitoso de la expresión de un transgen en células vegetales (Herrera *et al.*, 1983) y posteriormente se obtuvieron ejemplos de transgénesis en sistemas modelos (tabaco y petunia) para luego adaptarlos a

³⁴ En este proceso de cruza dirigida, los individuos sobresalientes son seleccionados en ciclos subsiguientes de cultivo hasta que, después de numerosas cruza y retrocruza se obtiene una generación portadora de la característica deseada, reconocida como una nueva variedad.

³⁵ Estas semillas comerciales tienen potencial de alto rendimiento solo bajo condiciones de cultivo ideales (irrigación, fertilizantes, mecanización, etc.)

cultivos de importancia alimenticia (arroz, papa y tomate). En esa misma época se logró aislar el gen *Bt*, que al ser insertado en el maíz dio origen al llamado "maíz *Bt*". Dada la importancia de estos resultados se generó un gran interés por parte de las grandes empresas agroquímicas fundando sus propios laboratorios, equipos y campos de investigación, adquiriendo los derechos de las tecnologías claves para su desarrollo (Herrera, 2004).

En la actualidad hay varias empresas transnacionales que tienen el monopolio de la producción de transgénicos. El maíz transgénico es producido por empresas como Novartis que produce maíz *Bt* conocido comercialmente como *LibertyLink*, el maíz *Ciba Geigy* resistente a la ampicilina y destinado al consumo humano y animal, y *Pioneer Hi Bred* que reduce el fósforo de las heces de bovinos, aves y porcinos. Monsanto produce tres especies de maíz transgénico: *YieldGard Insect-Protected Corn* resistente a insectos (maíz *Bt*), *Roundup Ready Corn*, que controla 145 especies de plaga con un solo herbicida, que es vendida por la misma transnacional, y *Roundup Ready/YieldGard Stracked Trait Corn*, que conjunta ambas características.

Las ventajas del maíz *Bt* han sido evidentes en cultivos de Estados Unidos donde fue diseñada y aplicada esta biotecnología. Aunque el maíz ha sido un éxito biotecnológico, los insectos que atacan este cultivo difieren con la región geográfica, por lo que es necesario considerar el contexto para el cual fue diseñado y el contexto en el que se aplica. Para aplicar este cultivo en México es necesario realizar pruebas para comprobar su eficacia en un ecosistema diferente. En el caso del maíz tolerante a herbicidas los resultados obtenidos en Estados Unidos son favorables ya que eliminan a las malezas que crecen al lado del maíz, y que de otra forma utilizarían los nutrientes y elementos fundamentales para su crecimiento. Sin embargo, el uso de este maíz en México podría traer graves consecuencias por la enorme contaminación causada por el uso intensivo del herbicida y sobre todo porque la mayor parte de los sembradíos de maíz se desarrollan en forma de policultivos y son cultivos para autoconsumo (Chauvet y Gálvez, 2005). En México hay muchos investigadores conscientes de este problema y han mostrado su preocupación por la tendencia moderna a la introducción de variedades comerciales uniformes en las regiones indígenas del país y de Latinoamérica. Toledo (1989, 2002, 2004) y Alarcón-Chaires (1998) entre otros contemplan que la introducción de maíz transgénico al país implicaría el abandono paulatino de las variedades tradicionales y el riesgo de su extinción, con lo que estarían también desapareciendo un importante patrimonio latinoamericano para el mundo. Aunque esta preocupación también se presentó con los híbridos de maíz no se perdieron las variedades criollas, debido a que los

campesinos las prefieren sobre cualquier otra semilla por ser parte de su gastronomía, tradición, parte de la biodiversidad agrícola protegida por las comunidades, parte de su cultura, parte de su cotidianidad, parte de su identidad; razones suficientes para protegerlas.

3.2. Uso del maíz como modelo para la fabricación de productos

El utilizar al maíz como modelo para la fabricación de determinadas sustancias presenta ciertas ventajas metodológicas ya que es una planta ampliamente estudiada y debido a sus características biológicas y al metabolismo que presenta es ideal para utilizarse en la producción de fármacos³⁶, vacunas, adhesivos, polímeros y proteínas. Esto fue posible debido a que la mayoría de los genes de cualquier origen se puede expresar en sistemas heterólogos. El sistema de expresión ideal sería el que produce el material en mayor cantidad, más seguro y biológicamente más activo con el costo más bajo. Además, la mayor ventaja que presenta es que las proteínas se conservan sin refrigeración rodeadas del endospermo en el grano por lo que su extracción es más sencilla. Una vez extraídas las proteínas son lábiles. A diferencia del uso de células de mamíferos modificadas con técnicas de DNA recombinante que a pesar de que tienen la ventaja de producir compuestos idénticos a los naturales, cultivar estas células es muy costoso y se puede realizar solamente en escala limitada (Gómez, 2001).

Algunas de las empresas que están interesadas en la producción de fármacos en cultivos transgénicos sobre todo en maíz son: Diversa, Dow, Epicyte, Samyang Genex, Meristem Therapeutics, Maxygen, y Prodigene. Esta última tiene un contrato de colaboración con Stauffer Seeds³⁷ para producir diez proteínas específicas en maíz genéticamente modificado para obtener vacunas, enzimas y un endulzante con base proteica (Fox, 2003). Su principal interés es el económico ya que la industria farmacéutica es la que más ganancias obtiene a nivel mundial. Además la producción de fármacos en plantas podría ser positiva para la imagen de los OGM. Después de todo, medicinas "nuevas y más baratas" son la clase de productos que los consumidores quieren.

Sin embargo, la oposición a que el maíz y otras plantas utilizadas para consumo humano sean usados como biorreactores es muy fuerte (Acevedo, 2004; Antoniou, 2004; Krisstinson, 2004, entre otros). Dado que estas tecnologías no pueden ser frenadas de

³⁶ Los fármacos tienen como objetivo mitigar, curar o servir en el diagnóstico de enfermedades.

³⁷ Empresa derivada de Stauffer Chemical, anteriormente una división de Novartis (<http://www.staufferseeds.com>)

manera inmediata y el desarrollo de tecnologías continúa, es importante entonces considerar algunas restricciones para la utilización de los biorreactores que sean a la vez cereales o granos importantes para el consumo humano, ya que atentan contra la integridad del recurso por la posibilidad de escape de genes en esta variedad de polinización abierta. La primera restricción sería la segregación geográfica, si se van a producir fármacos en maíz entonces que no se cultiven cerca de cultivos para la alimentación o que sean COD de esta especie. Los biorreactores no generan o expresan productos básicos ni de primera necesidad, además se estarían consumiendo proteínas experimentales y vacunas que podrían causar reacción y hacer daño, por lo que no deben tener prioridad sobre cultivos para la alimentación. Otra forma de segregación sería la cultural. Simplemente NO utilizar cultivos para la alimentación como biorreactores. Estos cultivos tienen una relación estrecha con las sociedades que las consumen, como ya se señaló en el apartado 2.2.2.

3.2.1. Beneficios del modelo

Empresas como MERISTEM®THERAPEUTICS³⁸ son líderes en la producción de proteínas recombinantes en maíz y tabaco y ofrecen la venta de proteínas expresadas en maíz transgénico, asegurando que no existe el riesgo de diseminación de polen transgénico. Además garantiza que su procesos proveen una alta expresión de proteínas complejas (como anticuerpos o enzimas multiméricas), seguridad óptima (no se trabaja con proteínas animales, priones o patógenos), estabilidad a largo plazo de la proteína de interés en las semillas (la semilla es eficiente al almacenarse a temperatura ambiente durante años), alta flexibilidad (rápida amplificación de la producción de semilla), bajo capital de inversión para el cultivo y una capacidad de producción a gran escala.

En general, las empresas presentan los beneficios del modelo basándose en el valor económico como una gran ventaja. Otras ventajas que presentan las plantas al ser utilizadas como biorreactores son:

- Su capacidad para producir proteínas farmacéuticas de manera más económica que el cultivo de células de origen animal.

³⁸ Las oficinas principales de esta empresa, su planta piloto de producción y sus laboratorios de investigación se encuentran en Clermont-Ferrand, Francia (<http://www.meristem-therapeutics.com>).

- Su capacidad para producir productos farmacéuticos novedosos o medicamentos para un mayor número de enfermedades que de otra manera no se producirían tan fácilmente.
- Su eficiencia para producir nuevos fármacos en grandes volúmenes que potencialmente incrementará el acceso del paciente a nuevas terapias.
- Su ventaja como un recurso renovable y sustentable para la producción de fármacos.

La producción de proteínas farmacéuticas en plantas representa un cambio de paradigma para la producción de fármacos y la biología, además del uso de productos formalmente limitados para uso de alimentación humana y animal. A pesar de que la información que la mayoría de los medios de comunicación transmiten sobre estas tecnologías, es necesario saber que la planta no es el producto o fármaco final, así como los sistemas microbianos y de levaduras tampoco son el producto final. Estas plantas representan solamente un paso en un proceso farmacéutico de producción compleja. Consecuentemente, algunos de estos procesos siguen las regulaciones tradicionales. (Peterson y Amtzen, 2004). Sin embargo, la producción de proteínas en plantas en el ambiente y en cultivos alimenticios despiertan retos en las perspectivas de regulación y evaluación del riesgo. En un ambiente, al aire libre, la contención y control debe ser especial y bajo estrictas regulaciones ya que en el caso de los cultivos transgénicos, esta resulta ser menos acertada comparada con los procesos farmacéuticos tradicionales.

3.2.2. Riesgos del modelo

La producción de fármacos, intermediarios de fármacos u otras sustancias en plantas superiores y sobre todo en plantas para consumo humano como el maíz, conlleva al peligro potencial de que las sustancias farmacéuticas encuentren la manera de incorporarse en la cadena alimenticia. Ya sea que en la molienda de los granos, por el flujo génico, o por alguna mezcla accidental producida por la incapacidad de diferenciar físicamente al maíz tradicional del maíz transgénico utilizado como biorreactor, es importante considerar como factible cualquiera de estas posibilidades. Una de las mayores preocupaciones sobre la regulación en este tipo de biotecnologías es la expresión de las proteínas. Las proteínas se pueden expresar sólo donde se necesitan (en tallo, grano, hoja, etc.) nulificando o permitiendo su exposición al ambiente, reduciendo así algunas de las preocupaciones. Además, para evitar riesgos como estos, los científicos utilizan barreras físicas (emasculación de plantas, quitar las flores, cultivo en invernaderos de bioseguridad, etc.) para evitar la posibilidad de que el polen se cruce con otras plantas no transgénicas.

Hay algunos casos en que el control genético está garantizado debido a preocupaciones económicas o de seguridad de parte de las empresas (Hom *et al.*, 2003). Por ejemplo, el diseñar semillas con "control de la expresión genética"³⁹ (semillas "Terminador") evita que la semilla con el transgen se reproduzca, sin embargo, esta característica es vista de dos maneras: 1) las empresas aseguran la protección de la innovación y evitan la posibilidad de escape del transgen y 2) los agricultores se ven obligados a comprar semilla nueva a la empresa para el siguiente ciclo de cultivo por no poder utilizar el grano como semilla. Es por eso que, a pesar de los métodos de contención que existen, deben considerarse las medidas necesarias para evitar un problema como escape del sistema bioquímico que esteriliza la semilla a otra planta y que, además de la contaminación genética que implica, pueda demandarse a los agricultores por usar semilla que no compraron y que sin saberlo contiene el transgen patentado.

En un principio las plantas utilizadas para la expresión de proteínas eran trabajadas en invernaderos y bajo condiciones más controladas, pero dado que en el 2002 se comenzaron a permitir pruebas en campo en los Estados Unidos es necesario repensar como se tratarán los riesgos ambientales y cómo serán regulados. En México los riesgos son mayores por las regulaciones laxas y el incumplimiento de las mismas. Otra preocupación regulatoria es que la comercialización para terapia en humanos no ha sido aprobada.

Dada la controversia en torno al "Molecular Farming" y sus posibles beneficios y daños, es importante tomar en cuenta el Principio Precautorio⁴⁰ que considera que frente a una eventual obra o actividad con posibles impactos negativos en el medio ambiente, la decisión política no debe permitir su realización. Ésta se basa exclusivamente en indicios del posible daño sin necesidad de requerir la certeza científica absoluta (Declaración de Río, 1992).

Robert Peterson y Charles Arntzen (2004) proponen utilizar el paradigma de evaluación de riesgo para evaluar el riesgo ecológico y humano del cultivo de plantas transgénicas que expresan proteínas farmacéuticas en Estados Unidos. Sin embargo, este

³⁹ También es conocido como Sistema de Protección de Caracteres, TPS por sus siglas en inglés, Trait Protection System.

⁴⁰ El Principio Precautorio se consideró dentro de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en el principio 15 de la "Declaración de Río", además también se encuentra dentro del Protocolo sobre Seguridad en la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica de la Organización Mundial d Comercio (<http://www.rolac.unep.mx/docamb/esp/dr1992.htm>). Con la aprobación del primer producto terapéutico también viene la realización de muchos beneficios de la tecnología de plantas transgénicas, según afirman los científicos y empresarios afines a esta tecnología.

paradigma puede ser aplicado en otras partes del mundo considerando a cada caso como específico.

La evaluación de riesgos ha sido definida como una base formal para la evaluación objetiva de tal manera que los supuestos e incertidumbres estén presentes y sean consideradas (Stern y Fineburg, 1996)⁴¹. La evaluación de riesgo sigue los siguientes pasos: (1) formulación del problema, (2) identificación de peligros, (3) relaciones dosis-respuesta, (4) evaluación a la exposición y (5) caracterización del daño. Los peligros y la dosis son considerados en relación a la exposición para determinar que dato adicional se necesita para calcular o afinar los estimados del riesgo. Para la evaluación de daño químico, en donde una sustancia química (por ejemplo un plaguicida) se disemina en el medio ambiente, el paso de la evaluación de la exposición es crucial para la adecuada caracterización del riesgo. Por el contrario, en una evaluación de riesgo para plantas utilizadas como biorreactores, los pasos esenciales son la formulación del problema y la identificación del posible daño.

Las preguntas que deben realizarse durante la formulación del problema son: (1) ¿Cuál es la actividad que causa daño? (2) ¿Cuáles son los efectos ecológicos potenciales? (3) ¿Cuáles son los efectos potenciales en la salud humana? (4) ¿Cuáles son los potenciales escenarios de exposición? (5) ¿Cuáles son las rutas potenciales de exposición?

El paso de la identificación del peligro es para determinar cual es el peligro y descubrir por qué causa daño.

Debido a su especificidad, no toxicidad y capacidades de prevención de enfermedades o uso terapéutico, muchas proteínas farmacéuticas que son producidas en plantas logran cambiar nuestra capacidad para definir un peligro ambiental. El simple hecho de que las proteínas se encuentren en el ambiente, no necesariamente las hace contaminantes ambientales o peligrosas para la salud humana⁴² en el mismo sentido en que pueden serlo los productos químicos. Por lo tanto, imponer un esquema de regulación rígido para estas proteínas que sea similar a la manera en que se regulan los plaguicidas.

⁴¹ La evaluación de riesgo que se practica más frecuentemente en Estados Unidos sigue las directrices del paradigma del "Libro Rojo" ("Red Book" paradigm) que fue aprobado por el Consejo Nacional de Investigación en Estados Unidos (United States National Research Council) en 1983.

⁴² Todo depende de si las proteínas llegan a la cadena alimenticia y si producen una reacción inmune. En ningún caso se puede generalizar, tiene que ser caso por caso, ya que puede haber proteínas inocuas y hay algunas que producen alergias o reacciones inmunes dependiendo del sujeto, de la dosis y de las condiciones.

sería ética y políticamente cuestionable, sobre todo en el contexto mexicano donde las regulaciones respecto al uso de plaguicidas son extremadamente laxas.

La sorprendente variedad de proteínas recombinantes que pueden ser expresadas en las plantas demanda que el riesgo asociado con ellas sea evaluado sobre la base de un análisis de caso por caso.

3.3. Comparación entre transgénicos

La generación de OGMs, ha causado muchas reacciones alrededor del mundo, ha despertado el interés en la sociedad y llevado a grandes controversias a los científicos y es en gran parte porque muchos de sus posibles efectos no se habían presentado con ninguna otra tecnología. Dependiendo del país, región y localidad en donde el transgénico sea introducido, las reacciones van desde la preocupación por los posibles efectos negativos en ambientes megadiversos o los posibles efectos en la salud causados por los marcadores de selección de resistencia a antibióticos, hasta el desconocimiento total de estos organismos. Las diferencias entre las reacciones se deben en gran medida a que las diferentes dimensiones del riesgo son un asunto de juicios de valor subjetivos (Stirling, 1999).

A continuación se realizará un análisis de los beneficios que ofrecen los transgénicos, en el cuadro 1 se observan las características positivas que de acuerdo a sus partidarios ofrecen. De manera general, estos argumentos son apoyados en su mayoría por científicos y por las empresas que producen y comercian con estas tecnologías.

Cuadro 1. Promesas de los beneficios que ofrecen los transgénicos.

Beneficios de los transgénicos	
1ª y 2ª generación	3ª generación
Menor uso de herbicidas	Producción de fármacos económicos
Resistencia a plagas y enfermedades	Seguridad y calidad óptima
Combatir la escasez de alimentos en el mundo (seguridad alimentaria)	Fármacos novedosos para tratar un mayor número de enfermedades
Mejor rendimiento de las cosechas	Beneficios nutricionales y a la salud

Disminución de labores de labranza tradicional	Producción de grandes volúmenes para asegurar el acceso a más consumidores
Plantas resistentes a condiciones ambientales desfavorables (uso de tierras marginales)	El incremento en el número de fármacos permitirá desarrollar nuevas terapias para beneficio del usuario
Beneficiarán al pequeño productor	Biorremediación de ambientes dañados
Confiables en su uso (por ser científico es bueno)	Acceso de vitaminas y alimentos para los países en desarrollo
"Amigables" para el medio ambiente	Más opciones para el consumidor

Por otro lado, las situaciones de riesgo son consideradas por científicos, en su mayoría sociales, por organizaciones no gubernamentales y algunas gubernamentales. Entre los riesgos que encuentran para las primeras generaciones de OGM se encuentran: la persistencia de transgenes en la naturaleza (por flujo génico, al inicio de las liberaciones, en generaciones posteriores por transferencia vertical y por transferencia horizontal), generación de malezas por resistencia a herbicidas o plagas por resistencia a los insecticidas expresados en el OGM, erosión genética, evolución de insectos resistentes y dependencia de los campesinos a empresas transnacionales, erosión cultural al modificar las formas de cultivar (cambio de policultivo a monocultivo), posible toxicidad y alergenicidad de las proteínas expresadas, efectos pleiotrópicos en las plantas transgénicas, entre otros efectos inesperados. Para el caso de los transgénicos de tercera generación argumentan que: no tienen ninguna ventaja agronómica, hay riesgo de contaminación de otras especies por flujo génico (al igual que para las otras generaciones), utilizan plantas de consumo humano como modelos para fabricar fármacos e inclusive plásticos biodegradables, benefician sólo a los consumidores que tienen los recursos económicos suficientes para pagar por ellos, existe el riesgo de confundirlos con plantas no modificadas y al ingerirlas pueden producir daños, entre muchos otros.

Pero, ¿los beneficios que presentan los partidarios de los OGM son realmente beneficios?

Científicos como Agustín López Munguía⁴³, defienden a la biotecnología y sus aplicaciones en diferentes áreas de la producción como la industria química y la farmacéutica, rechazando que los transgénicos produzcan daños al ambiente y a la salud por no haber evidencias científicas de que en realidad eso está ocurriendo, por lo que califica de irresponsables e infundados los temores hacia los OGM (López-Munguía, 2004). Sin embargo, no considera que una tecnología es buena ni es mala según el contexto y la intencionalidad en la que se aplique, además no menciona que se deben considerar los riesgos como posibilidades reales para poder actuar en una situación problemática. Respecto a la falta de evidencia científica, no es necesario que exista para aplicar el Principio Precautorio, además es claro que este tipo de información no es ampliamente estudiada por la censura que existe a la refutación de la metodología utilizada y por lo tanto a la veracidad de los resultados (como en el caso de Quist y Chapela, 2001). O bien, para el caso de las evaluaciones de seguridad de las proteínas expresadas en plantas transgénicas; las evaluaciones no se hacen con la proteína expresada en la planta, sino que la construcción genética se sobreexpresa en un hospedero bacteriano y se extrae de ahí para hacer los estudios de alimentación de animales de laboratorio, en lugar de hacer extractos de la planta.

En el cuadro 2 se analizaron cada uno de los beneficios para averiguar si en un contexto como México, los beneficios potenciales difieren de aquellos observados en el contexto en que fueron creados, y saber si funcionan de la misma manera como se había proyectado en los países desarrollados. Para que la comparación sea válida se deben recordar algunas características importantes de un país como México: es un país en proceso de desarrollo, es COD de maíz y otros importantes cultivos comerciales, es considerado como una especie de "custodio" del germoplasma del maíz, es un país Parte del Protocolo Internacional de Bioseguridad, tiene varios convenios y tratados políticos y comerciales con naciones desarrolladas que podrían afectar la toma de decisiones y el rumbo del país y a la vez es un país con una industria biotecnológica prometedora (Gálvez, 2004).

Cuadro 2. Análisis de los "beneficios" de los primeros OGM en México.

"Beneficios" de los transgénicos de 1ª y 2ª generación	Aplicación de los transgénicos de 1ª y 2ª generación en el contexto mexicano
--	--

⁴³ Investigador del Instituto de Biotecnología de la UNAM en proyectos relacionados con la aplicación de enzimas en la producción y transformación de alimentos.

<p>Menor uso de herbicidas</p>	<p>El uso de herbicidas ha aumentado porque más del 72% de los cultivos transgénicos son resistentes a herbicidas. Se genera por lo tanto, una dependencia a las empresas transnacionales para seguir utilizando sus semillas y sus herbicidas que ofrecen en "convenientes" paquetes para el agricultor. En México el uso de herbicidas no es tan frecuente por los costos de los productos y se da una "agricultura orgánica" por necesidad.</p>
<p>Resistencia a plagas y enfermedades</p>	<p>Puede producir la evolución de insectos resistentes y generación de nuevas plagas. Si ocurre flujo de transgenes que expresen Bt se pueden originar plagas de insectos difíciles de controlar. Muchas de las enfermedades y plagas para las que está diseñado el maíz Bt atacarían a especies nativas que no son nocivas para el cultivo de maíz, además las enfermedades que atacan al maíz no son las mismas. Las empresas consideran que hay un maíz y algunas enfermedades, pero dada la variedad de maíces en México la situación cambia y hay diferentes enfermedades para cada variedad en diferentes regiones.</p>
<p>Combatir la escasez de alimentos en el mundo (seguridad alimentaria)</p>	<p>La solución no está dada por la siembra de OGM, lo que se requieren son soluciones políticas y un plan como Nación para solucionar los problemas de alimentación, pobreza, corrupción, educación y mejorar la calidad de vida. El problema no es científico, es político.</p>
<p>Mejor rendimiento de la cosecha</p>	<p>La tecnología está diseñada para monocultivos en los que la producción se</p>

	<p>maneja por cantidad y para venta masiva. En muchas comunidades de campesinos mexicanos la cosecha se mide por variedad de productos y calidad, siendo principalmente para autoconsumo, trueque o venta local, lo que resulta en una dieta variada y más nutritiva.</p>
<p>Disminución de labores de labranza tradicional por no haber malezas</p>	<p>Mediante el flujo genético puede darse la generación de malezas por resistencia a herbicidas y plagas. Podría resultar problemática en áreas donde el teocintle se considere maleza y sea controlado con el herbicida. En México el deshierbar es parte de las tradiciones de los campesinos, es una actividad familiar. Lo que las empresas consideran como malezas, los campesinos mexicanos las consideran alimento (quelites, manzanilla, verdolagas, amaranto, frijol, etc.)</p>
<p>Plantas resistentes a condiciones ambientales desfavorables (uso de tierras marginales)</p>	<p>En el país existen ambientes desfavorables en que se podría utilizar esta alternativa, sin embargo dado el costo de la tecnología sería difícil hacer uso de ella.</p>
<p>Beneficiarán al pequeño productor</p>	<p>En México los agricultores no poseen el dinero suficiente para invertir en estas tecnologías costosas, por lo que en ocasiones llegan a acuerdos con las empresas para rentarles sus terrenos y mano de obra y sembrar semillas transgénicas experimentales que la empresa les da.</p>
<p>Confiable en su uso (por ser científico es bueno)</p>	<p>El que sea científico no es sinónimo de bueno y confiable. Las tecnologías son buenas y son malas dependiendo del momento y la situación. La confiabilidad es una cuestión de</p>

	tiempo.
"Amigables" para el medio ambiente	Si fueran amigables no eliminarían insectos (plagas) ni plantas que habitan en su mismo ambiente. El entorno varía de un lugar a otro, si bien no afectan los entornos de los campos estadounidenses es en gran medida porque no hay demasiada biodiversidad que dañar, son sólo campos específicos para un solo cultivo. En México el impacto en su entorno es mayor, los campesinos tienen un entorno biodiverso y las pruebas realizadas para comprobar su "amistad" fueron realizadas en entornos "vacíos". Nuevamente considerar los contextos y los casos es importante.

Fuera del contexto en el que fueron creados no parecen tener mucha razón de ser. Los contextos pueden llegar a cambiar la utilidad y el uso de la tecnología, dependiendo del contexto esa tecnología se puede adaptar o bien puede haber situaciones en la que la tecnología cambie el contexto, sin embargo este cambio puede llevar a la pérdida de tradiciones y el cambio cultural. El punto en cuestión sería si ese cambio cultural es positivo o negativo.

El uso del maíz como biorreactor implica una diferencia con los OGM anteriores, ya que las empresas aseguran que el consumidor será el beneficiario de estas aplicaciones, aunque en realidad lo que se prevé es que el consumidor será finalmente dependiente de esos productos y mercancías y las empresas seguirían teniendo el control. Un punto crucial para lograr estos objetivos es la monopolización del mercado a través de las patentes⁴⁴. Las patentes han planteado restricciones a la investigación, pues implica pagar regalías por el uso de esa patente. Al igual que la transferencia de tecnología de plantas transgénicas implican problemas económicos, políticos y sociales, desde el punto de vista técnico los

⁴⁴ Las patentes han sido motivo de controversia en diferentes tecnologías e innovaciones, en el caso de los OGMs son vistas como la protección hacia la innovación y al creador o autor. Sin embargo, los intereses económicos involucrados en las patentes han llevado a la "apropiación ilegal" de recursos biológicos por parte de las empresas transnacionales. Wendt e Izquierdo (2001) realizaron una revisión histórica de las patentes considerando el balance entre los derechos de propiedad intelectual (IPR, Intellectual Property Rights, por sus siglas en inglés) y la protección y beneficios de compartir.

problemas son mínimos. Los beneficios prometidos por los productos obtenidos de biorreactores tampoco ofrecen muchas ventajas en un país como México (ver cuadro 3).

Cuadro 3. Análisis de los "beneficios" de los OGM de 3ª generación en México.

"Beneficios" de los transgénicos de 3ª generación	Aplicación de los transgénicos de 3ª generación en el contexto mexicano
Producción de fármacos económicos	La industria farmacéutica y la de los llamados "alimentos funcionales" o nutraceuticos es una de las más importantes en el mercado mundial, aunque los costos de producción del nutraceutico puedan reducirse, los costos para los consumidores no serán del todo económicos. Dada la situación económica actual del país serían pocas las personas que contarán con los recursos para poder adquirir estos productos. Además, existe un vacío legal respecto de estos nutraceuticos que no pueden clasificarse ni como medicamentos ni como alimentos.
Seguridad y calidad óptima	A pesar de los cuidados científicos y los requerimientos técnicos para liberar un transgénico o cultivarlo a gran escala, se necesitan hacer más pruebas en diferentes entornos y bajo diferentes circunstancias para abarcar todas las posibilidades siendo exhaustivos con todas las variables. Dado que las condiciones climáticas y los contextos sociales y culturales en México difieren de los ambientes para los que los OGM fueron creados, es necesario realizar evaluaciones que aseguren su calidad, capacidad y eficacia para resolver verdaderas problemáticas nacionales.

<p>Fármacos novedosos para tratar un mayor número de enfermedades</p>	<p>En general, las enfermedades que se estudian para ser tratadas con cierto medicamento son casos que se presentan en países desarrollados y son considerados casos de prioridad nacional y es difícil acceder a estos tratamientos si no se es ciudadano de esos países. Si unas cuantas personas de bajos recursos en México presentan una enfermedad, difícilmente se desarrollará un medicamento específico para ellos, ya que no serán capaces de pagarlos, por lo que no resulta rentable para la empresa.</p>
<p>Beneficios nutricionales y a la salud</p>	<p>El consumir uno o pocos alimentos transgénicos no va a solucionar todos los problemas nutricionales y de salud. Si bien pueden contribuir a mejorar algunas carencias de vitaminas, prevenir o curar enfermedades, la verdadera solución está en los hábitos alimenticios de la población, el sistema de salud y la prevención de enfermedades. Ligado a estas cuestiones está el hecho de que la gente tenga empleo remunerado para mejorar la calidad de vida. Se trata de una cuestión de prevención y buena nutrición y calidad de vida.</p>
<p>Producción de grandes volúmenes para asegurar el acceso a más consumidores</p>	<p>Producir más fármacos no necesariamente implica que un número mayor de personas podrán hacer uso de éstos. En general, en el país no todos tienen la posibilidad de adquirir medicamentos convencionales, más difícilmente se podrán adquirir los provenientes de este tipo de tecnologías, si no se logra abatir los costos verdaderamente.</p>

<p>El incremento en el número de fármacos permitirá desarrollar nuevas terapias para beneficio del usuario</p>	<p>Los estudios clínicos que se realizan sobre enfermedades poco comunes y su posible cura son desarrollados en países industrializados dado que el costo de las terapias y el largo proceso que llevan los estudios clínicos para la aprobación de un medicamento sólo pueden ser financiados con recursos del gobierno y empresas privadas. Esta situación no ocurre en México, la inversión en ciencia y tecnología de parte del gobierno y empresas es escasa. Un paciente no puede costear los gastos por sí solo.</p>
<p>Biorremediación de ambientes dañados</p>	<p>El utilizar plantas transgénicas para reducir el impacto de un ambiente deteriorado no es la única opción. El utilizar levaduras, hongos, plantas o bacterias convencionales puede dar los mismos resultados. El uso de estos microorganismos para la biorremediación es un campo estudiado por varias instituciones de educación en México, es importante mencionar que estos OGM también tienen riesgos.</p>
<p>Acceso de vitaminas y alimentos para los países en desarrollo</p>	<p>La carencia de medicamentos y en general de calidad de vida es una cuestión de injusticia social más que de carencia de esos productos o medicamentos. Nuevamente el problema es político y económico, no científico.</p>
<p>Más opciones para el consumidor</p>	<p>La idea es que habrá más productos para escoger y más opciones. En México el poder elegir como consumidor no es un derecho. Para poder decidir se necesita contar con información sobre el producto que se va a</p>

	adquirir. Sin embargo, a pesar de que la Ley de Salud estipula normas para el etiquetado, no hay disponible buena información sobre los OGM y las reglamentaciones no se cumplen.
--	---

Estos nuevos biorreactores también presentan problemas ambientales, además estos problemas parecen incrementarse cuando son cultivados a gran escala fuera de los invernaderos y de condiciones controladas. Los problemas más notables son la polinización cruzada (flujo génico) y los efectos desconocidos en insectos, microbios del suelo y otros organismos nativos. Esta tecnología también tiene consecuencias potenciales en la salud pública. Si se llegara a contaminar la cadena alimenticia humana accidentalmente con un maíz transgénico que expresara algún fármaco, las consecuencias serían impredecibles.

Pareciera que las promesas y beneficios que estas tecnologías ofrecen no son tales en el contexto mexicano. Los riesgos existentes en México por sus particulares condiciones ambientales y dados los ejemplos de problemas ambientales, sociales, económicos en los países en desarrollo, se debe dudar y se debe analizar caso por caso y tomar precauciones cuando se decida aceptar o no estas tecnologías. Se deben considerar así mismo, las experiencias pasadas como la fuga de transgenes en Estados Unidos y México, el caso reportado de "contaminación" de maíz en 2002 con maíz transgénico desarrollado por ProdiGene para producir una vacuna porcina experimental que muestran lo factible que estos casos pueden llegar a ser⁴⁵ o el caso de la contaminación de maíz en Oaxaca reportado en 2001 por Quist y Chapela.

Las precauciones que se deben tomar deben ser bien analizadas por un equipo multidisciplinario para poder tener diferentes visiones y estas decisiones deben ser, sobre todo, informadas.

⁴⁵ Este caso se encuentra reportado en *Nature Biotechnology*, (2003) Vol. 21: 3-4.

4. Discusión y conclusiones

El espectro de usos potenciales de las sustancias extraídas de plantas es muy amplio e incluye, por ejemplo, aplicaciones en manufactura de detergentes, producción de papel, recuperación de minerales, o la producción de sustancias y proteínas experimentales (Federal Register, 2003). A pesar de que las plantas han sido utilizadas por el ser humano para obtener refugio, alimento, combustible y fibras durante milenios e históricamente también han sido un recurso muy importante para obtener remedios y medicamentos (fármacos), así como colorantes, lubricantes, adhesivos y otros componentes industriales, su uso actual como biorreactores lleva a una situación nueva y controversial.

Algunas de las plantas utilizadas como biorreactores son: tabaco, alfalfa, trigo, arroz, tomate, nabo, jitomate, arábido, lechuga, soya, plátano, papa y maíz, entre otras. Algunos fármacos derivados de plantas y algunos compuestos industriales tienen impacto en la salud humana y animal si llegan a estar presentes, de manera no intencional o intencional, en el alimento. Además el uso de plantas de polinización abierta o libre como el maíz conduce a problemas ambientales y crea la posibilidad de que de forma no intencional estas sustancias no alimenticias aparezcan en la cadena alimenticia, lo que plantea situaciones de riesgo para los seres humanos, por lo que es importante establecer mecanismos de identificación, evaluación y gestión de riesgos que deben ejercerse con todo rigor.

Debido a las controversias que las plantas transgénicas causan, es importante que el análisis de los beneficios y los riesgos de las plantas transgénicas considere el fenotipo que se está modificando en la planta, ya que cada uno de los casos debe tratarse de manera diferente (Herrera y Martínez, 2004). La evaluación debe hacerse al producto final (resultado de la tecnología), a su manejo, al ambiente en el que se aplicará, a su consumo y dosis. Más aún, esta evaluación debe de realizarse caso por caso.

4.1. Riesgo, incertidumbre e ignorancia

El riesgo sólo existe como tal si hay seres humanos que tengan razones para considerar como posible un suceso que afecte algo valioso para una persona o para un grupo de personas y en donde el resultado es incierto (Jaeger *et al.*, 2001). De acuerdo a López Cerezo y Luján (2000) "el riesgo presupone una situación donde una elección está en juego", siendo esa elección el resultado de decisiones humanas que puede llevar al daño de algo valioso y por consiguiente a la imputabilidad de alguna responsabilidad y a la

compensación por ese daño. Por lo que los daños causados en una situación de riesgo son imputables a ciertos agentes, a quienes puede y debe exigirse responsabilidades morales entre otras. Cabe destacar que en las sociedades contemporáneas los riesgos son omnipresentes y su distribución conduce a conflictos que plantean profundas cuestiones de justicia social (Olivé, 2004).

Dentro del proceso general de análisis o evaluación de riesgos es necesario identificar los riesgos como primer paso para estimar los riesgos. En una situación de riesgo conocemos los parámetros principales y sus probabilidades, sin embargo, en una situación de incertidumbre desconocemos las probabilidades en que esa situación se podría presentar (Wynne, 1992). La incertidumbre es la inseguridad que afecta a una afirmación científica debido a la falta de calidad o completud de los datos empíricos disponibles, o bien debido a la complejidad o inestabilidad del sistema empírico estudiado (López Cerezo y Luján, 2000). Por otro lado, en una situación de ignorancia "desconocemos lo que desconocemos" (no sabemos siquiera que puede pasar), es decir, ignoramos el riesgo, las probabilidades de aparición y los eventos que serían relevantes en el sistema o la actividad.

En el caso de utilizar al maíz como biorreactor en México, los riesgos potenciales requieren establecer mecanismos de identificación, evaluación y gestión de riesgos, que deben considerar los diferentes aspectos: científicos, sociales, culturales, políticos, económicos, históricos y éticos de la sociedad mexicana.

Biológicamente se llevan a cabo experimentos para controlar el "escape de transgenes", sin embargo, es difícil mantener controlados a los genes. Por ejemplo, tratando de crear semillas de maíz de alta pureza genética, se ha encontrado que la separación física de 200m entre diferentes variedades de maíz resultaba en "contaminación" debido a la polinización abierta (National Academy of Sciences, 2000). Es bien sabido que la mayoría de los cultivos se cruzan con parientes silvestres (Ellstrand, 2003), además existe el riesgo de que las semillas no se quedan en su lugar, pueden movilizarse atrapados en los equipos que las transportan, en las vías del tren, en los elevadores, en las carreteras donde tienen la posibilidad de germinar en la orilla de la carretera (Pessel *et al.*, 2001). Esta movilización de semilla no intencional puede ser también por contrabando por parte de migrantes que traen la semilla a México. Además existen casos de liberación de granos transgénicos, como el maíz de DICONSA el cual contenía maíz transgénico sin identificar y fue sembrado por campesinos mexicanos.

Cuando estos casos de "contaminación" genética ocurren, un solo alelo del cultivo tiene la oportunidad de multiplicarse a sí mismo repetidamente mediante la reproducción y persistir en varias generaciones. La situación es más compleja cuando los genes llegan a localidades en las cuales no eran deseados (como en COD), algunas veces persisten y se dispersan (Ellstrand, 2001, 2003). La dispersión de malezas entre continentes es un buen ejemplo de lo difícil que es contener a las plantas. Este es un riesgo que los científicos contemplan para evitar un problema mayor. Por lo que tiene sentido crear productos farmacéuticos de plantas que no sean alimento, se pueden usar otras plantas que no sean de polinización abierta como el maíz. Lamentablemente, este no es el caso. Recientemente, el 75% aproximadamente de los campos de fármacos en los Estados Unidos son de un solo cultivo: maíz, la principal fuente de alimento en el mundo (Information Systems for Biotechnology, <http://www.nbiap.vt.edu>). Hay buenas razones científicas del por qué el maíz fue el organismo elegido como el cultivo modelo adecuado para la producción de fármacos: es un cultivo del cual se conoce suficiente acerca de su genética, su transferencia es sencilla, tiene una producción, condiciones de almacenamiento, costos de establecimiento y operación adecuadas para tener un óptimo rendimiento.

Sin embargo, el utilizar al maíz como biorreactor tiene muchas desventajas en un país como México, ya que su condición de país COD del maíz y otros importantes cultivos, lo pone en una situación particular ya que es considerado como un "custodio" del germoplasma del maíz y a la vez es un país con una industria biotecnológica prometedora (Gálvez *et al.*, 1999, Gálvez, 2004).

Para evitar riesgos con el uso de biorreactores, los comités de bioseguridad consideran casos en los peores escenarios para saber cómo actuar. Por ejemplo, supongamos que una planta es transformada para producir un compuesto específico y se siembra en un área limitada en un país que no es centro de origen del cultivo. La planta cultivada es de polinización abierta y se cultiva en varios países en millones de hectáreas para alimentación y consumo humano. El compuesto es inocuo en bajas concentraciones pero tiene serios efectos en la salud humana si alcanza a tener cierta concentración en los alimentos. Supongamos que este gen se disemina por polinización en un campo de una variedad de la misma especie que se utiliza para producción de alimentos. También se puede asumir que la variedad para producción de alimentos es un híbrido que es típicamente consumido o procesado pero no utilizado como semilla para volver a ser plantado. Esta sería una buena noticia a nivel regional, porque un escape de genes a niveles bajos no tiene ningún efecto en la salud y no se detectaría por algún programa de

monitoreo. Sin embargo, a escala global el panorama es muy diferente. El alimento en forma de semilla u otros propágulos frecuentemente se mueve más allá de una sola área y traspasa fronteras, ya sea vendida, donada, o en los bolsillos de viajeros y migrantes⁴⁶. Esta variedad de semillas pueden llegar a comunidades muy distintas del lugar donde habían sido plantadas originalmente. Para los cultivos anuales, las semillas son guardadas y replantadas en campos y terrazas de polinización abierta en la mayor parte del mundo. Los agricultores intercambian semillas para experimentar y seleccionar. Supongamos que alguna o algunas de estas semillas tengan el alelo para la producción de una proteína u otra substancia. Finalmente imaginemos que este alelo le confiere también una mejor adecuación a las plantas de las terrazas y producen más polen, dan más semillas o sobreviven mejor que las plantas que no tienen el alelo específico. Entonces las condiciones son adecuadas para que el alelo incremente su frecuencia de manera no detectable, generación tras generación. El fármaco o proteína también incrementa su frecuencia y su concentración en la fuente de alimento, mientras que va teniendo serios efectos en la salud de los humanos que lo consumen (Ellstrand, 2003).

A pesar de que parecen ser casos lejanos y que cada componente del escenario tiene una baja o nula probabilidad de suceder, cada paso está representado por un fenómeno real con probabilidad de ocurrir. Por ejemplo, a pesar de la moratoria en México de cultivar maíz transgénico, ha habido una introgresión de transgenes, de manera no intencional y que no había sido detectada en el estado de Oaxaca (Quist y Chapela, 2001 y 2002, Álvarez-Morales, 2002). Esto representa la migración de esos genes más allá de límites internacionales. Aún cuando la extensión de los cultivos para la producción de fármacos en maíz en los Estados Unidos es limitada, la posibilidad del escape de transgenes y su movilización a través de la frontera sur, hace que el escape de transgenes de manera internacional sea no deseable. La gran promesa de esta tecnología y el peligro que sería un escenario del peor caso de contaminación, sugiere que ahora es el momento de buscar métodos más efectivos de contención y en el mejor de los casos evitar que el maíz utilizado como biorreactor sea cultivado en México.

Según Jaeger *et al.* (2001), el riesgo existe, si y sólo si, hay seres humanos que tengan razones para considerar como posible el suceso y cuya ocurrencia afectaría algo valioso para una persona o para un grupo de personas a pesar de que no se pueda predecir con certeza. Ambientalmente el riesgo existe considerando que los cultivos de

⁴⁶ Una de las explicaciones de aparición de maíz transgénico en algunos cultivos mexicanos es que las semillas fueron introducidas por migrantes que trabajan en Estados Unidos y Canadá en campos donde se cultiva maíz transgénico y fueron traídas a México de contrabando, desconociendo que se trataban de OGM y los posibles efectos y consecuencias que podrían tener en la región.

polinización abierta son un caso claro de riesgo potencial por la propia biología del maíz, es decir, el polen viable puede ser trasladado por el viento o por insectos polinizadores debido a que la planta no se autopoliniza. Este riesgo es mayor si se trata de un transgénico expresado en el polen, haciendo de este medio de propagación una vía para el escape del transgen. No era necesario tener escape de genes en Oaxaca para predecir el riesgo inherente que una variedad de polinización abierta impone al ambiente y al consumidor.

En el caso de la contaminación de maíz en México fue debido a la acción de varias personas que actuaron consciente o inconscientemente y como resultado de esa acción hay consecuencias con un impacto aún desconocido. Los daños causados por esta situación de riesgo deberían ser imputables a ciertos agentes a quienes pueden y deben exigírsele responsabilidad. Es importante señalar que imputar una responsabilidad es difícil, porque si bien podría culparse a los migrantes de traer la semilla transgénica y sembrarla en el país, no se les puede castigar por ignorar el diseño y origen de esa semilla. En este caso, la falta de un etiquetado adecuado (en inglés y español) y la carencia de información hacen que la movilización de semillas se siga dando. En un país con leyes bien establecidas y en las que existan comités de bioseguridad que se encarguen de cada caso específico es posible fincar responsabilidades. Sin embargo, en la realidad del contexto mexicano esto aún no sucede.

Además de las posibles consecuencias ambientales, el impacto social es evidente, sobre todo si la gente no está informada acerca de la naturaleza de las semillas que se importan o que se cultivan en Estados Unidos y en el caso de que se tratara de un fármaco o una proteína experimental, esta falta de información pone en riesgo la salud de la población que consume el organismo modificado.

La tecnología cambia la forma de vida de la gente por lo que la decisión de aceptarla o de rechazar los cambios en su forma de vida corresponde a la gente misma. Actualmente en México la toma de decisiones sobre cuestiones biotecnológicas se basa principalmente en las opiniones y sugerencias de grupos de expertos hacia los legisladores (Bartra *et al.*, 2005). La participación pública es casi nula y las decisiones se dejan sólo en manos de los expertos generándose una "tecnocracia" donde las decisiones que afectan a todos los ciudadanos y al ambiente son tomadas sólo por pequeños grupos de especialistas. Para evitar este sistema tecnócrata⁴⁷ que resulta incompatible con los valores democráticos de equidad en la pluralidad de los puntos de vista se debe permitir

⁴⁷ El riesgo no se puede reducir a ciertas características de la tecnología, determinadas sólo por los expertos, ni se puede afirmar que sólo los expertos pueden ser capaces de distinguir los riesgos reales, del llamado "riesgo percibido" que es percibido por los legos (Shrader-Frechette, 1991).

una discusión pública acerca de cuáles cambios hechos por los sistemas biotecnológicos se desean y son éticamente aceptables (Echeverría, 2002).

Realizar evaluaciones sobre el sistema de fármacos (o sobre cualquier otro sistema tecnocientífico), sobre sus resultados y consecuencias, ayudaría a que la identificación de riesgos sea más objetiva. Idealmente, todas las personas pueden y deben tomar medidas y promover acciones que podrían influir en el desarrollo de los sistemas biotecnológicos opinando sobre los posibles beneficios o desventajas que las biotecnologías tendrían en la sociedad y en su forma de vida. Sin embargo, esto no sucede en México, ya que esto sólo funcionaría si la gente está bien informada e interesada por estas cuestiones. La situación económica, política y social en la que se vive en el país impide que la gente tenga una calidad de vida adecuada y se pueda preocupar por qué tipo de comida o productos consuma, y no sólo se preocupe por qué comer. La divulgación sobre estos temas está, en la mayoría de los casos, polarizada sobre estos productos: o son buenos o son malos, no obstante, no se realiza un análisis en el que se incluyan los contextos y con datos respaldados en información científica.

Se ha reportado ampliamente sobre los daños y peligros potenciales de los OGM para la salud humana y los sistemas naturales (Altien, 1997; Pengue, 2000; Anderson, 2001, entre otros autores) y sobre la necesidad de adoptar el principio precautorio (Riechmann y Tickner, 2002). Muchos países, en su mayoría de la Unión Europea, han establecido moratorias para el cultivo o importación de los OGM, por el riesgo que estos organismos representan. El Protocolo de Bioseguridad (Montreal, 2000) fue el primer tratado internacional en el que se reconoce a los OGM un asunto de riesgo. Es por lo anterior que la evaluación del riesgo es utilizada como herramienta para la toma de decisiones, en este caso puede ser aplicada al uso del maíz como biorreactor. El paradigma del análisis del riesgo comprende a la evaluación del riesgo, el manejo de riesgo y la comunicación del riesgo, todos estos análisis son importantes para la efectiva regulación de leyes en una sociedad democrática (Stem y Fineburg, 1996). La capacidad de describir el riesgo cualitativamente es importante en el uso de biorreactores dadas las dificultades para establecer los peligros causados por proteínas específicas que se pueden expresar y que eventualmente lleguen al consumidor inadvertidamente. Sin embargo, la habilidad de describir estos riesgos cuantitativamente es más importante para que la ciudadanía pueda comprender sobre estas cuestiones en la legislación y la comunicación. Además el público es más receptivo a la información presentada dentro de un objetivo y un contexto. Pero la complejidad de la evaluación cuantitativa del riesgo, frecuentemente la hace inaccesible a los legos, por lo que la implementación y comunicación de las técnicas

para la evaluación del uso del maíz como biorreactor, permitirán mejorar la confianza pública en el proceso de toma de decisiones alrededor de estas tecnologías. Si bien las tecnologías están basadas en la ciencia, las bases científicas deben ser utilizadas para evaluar el riesgo del uso del maíz como biorreactor. Es decir, la ciencia debe ser parte del proceso de evaluación.

Es innegable que el caso del uso del maíz como biorreactor hay involucrados diferentes intereses económicos, militares, sociales, culturales y ambientales que muchas veces son incompatibles. Aun así se deben tomar medidas y participar para llegar a acuerdos lógicos y justos en los que haya un consenso de valores y pluralidad de opiniones para realizar una buena evaluación.

México es un país Parte del Protocolo Internacional de Bioseguridad y a pesar de ser COD de maíz no puede adoptar una actitud radical y totalmente opuesta a la biotecnología, porque tan importante es para el país la conservación de la biodiversidad, como los acuerdos internacionales que tiene con relación a la agrobiotecnología (Gálvez, 2004). Mantener una actitud balanceada y correcta, en circunstancias tan complicadas, es un reto importante para México ya que no podría darse el lujo de detener la innovación que bien puede remediar problemas nacionales, pero tiene la enorme responsabilidad de preservar la biodiversidad de su territorio, en bien de la diversidad global. Enfrentar esto requiere aplicar un plan de desarrollo sistemático que involucre a la investigación pública, la académica y la industrial, así como la participación ciudadana, y estar consciente de que los riesgos de la biotecnología son omnipresentes y su distribución conduce muchas veces a conflictos que plantean cuestiones de justicia social (Gálvez, 2000).

El escape de transgenes en maíz es el resultado de decisiones y acciones humanas y se debe responsabilizar a alguien de los daños causados. Debe haber una compensación por los daños ante una situación inminente de riesgo. Otro conflicto importante es saber a quién o a quienes se les debe compensar por el daño causado y la manera en la cual se debe compensar. El problema de evaluar el impacto de los sistemas biotecnológicos es saber la manera en que se van a distribuir los bienes o ganancias, o la atribución de responsabilidades y sanciones, así como poder exigir una compensación (López Cerezo y Luján, 2000). Para poder tener un panorama más amplio, es necesario que la participación de la ciudadanía sea considerada, sobre todo en casos donde una comunidad se ha visto afectada de manera directa. Los coloquios de consenso y talleres de discusión de escenarios son algunas maneras en las que la participación ciudadana podría expresar su opinión sobre estos controvertidos temas ya que dado los múltiples intereses involucrados ya no es aceptable que las decisiones sean tomadas por grupos de expertos únicamente,

se requiere la participación de muy diversos grupos de expertos y de no expertos (Olivé, 1999).

El papel de los Estados y de los Organismos Internacionales es tener el conocimiento y la información pertinentes para identificar y estimar el riesgo. Al momento de realizar una evaluación la posición que tienen los evaluadores, así como sus intereses, fines y valores, van a determinar qué acciones tomar en torno a un sistema biotecnológico y su impacto en la sociedad y su ambiente. La pluralidad de puntos de vista de los evaluadores permitirá percibir, identificar, evaluar y gestionar el riesgo; en conjunto las conclusiones estarían completas y de este modo no se daría privilegio a quien pudiese aportar un punto de vista diferente.

Se deben considerar todos los casos posibles en materia de regulación, o se comete el riesgo de crear prohibiciones absurdas o moratorias inadecuadas por excluir algún punto de vista. Aunque en México existía la moratoria a los transgénicos y el artículo 420 ter del Código Penal fue modificado, es bien sabido que esa modificación no es la más adecuada y específica, ya que prohíbe a los científicos manipular organismos transgénicos y la sanción por trabajar, almacenar o manejarlos sería una sanción penal (ir a prisión o pago de una multa) (Gálvez, 2000). Es obligación de los Estados y de los Organismos Internacionales crear regulaciones basadas en buenas razones y establecerlas de manera específica y concreta. Todos los sectores deberían reglamentarse en paralelo: agrícola/ ambiente/ salud/ comercio/ industria/ sociedad. Para lo que se requieren evaluaciones multidisciplinarias dados los efectos inesperados, que tuvieran impactos negativos, y deben ser evitados a toda costa. Estas evaluaciones podrían llevarse a cabo desde una instancia intersecretarial con poder de decisión y con fondos independientes de la industria, así mismo, no deben basarse únicamente en los datos que proporcionen las compañías, sino que se debe poder solicitar más experimentación y tener una instancia capaz de vigilarlas. Debe tenerse apertura y transparencia en la toma de decisiones, así como legislar a nivel nacional e internacional el establecimiento de mecanismos sociales de vigilancia que permitan facilitar la toma de decisiones, formas de actuar ante un riesgo, poder fincar responsabilidades y tomar decisiones para exigir compensaciones (Gálvez, 2000, 2004).

Las reglamentaciones nacionales deberán satisfacer las necesidades de México, para lo que es necesario el análisis de los diferentes actores y de sus intereses (comerciales, culturales, sociales, políticos, etc.). Además de considerar las circunstancias nacionales específicas como la megadiversidad, ser un país COD del maíz y tener la necesidad de realizar evaluaciones costo-beneficio que tomen en consideración el impacto socioeconómico, teniendo como base el Protocolo de Cartagena que incluye el Principio

Precautorio al reconocer que la falta de certeza científica sobre la inocuidad de los OGM permite al país prohibir su entrada (Gálvez, 2004).

Nacional y globalmente es importante tener legislaciones claras y transparentes, porque no es del todo útil, por ejemplo, que un país como Estados Unidos tenga una buena regulación sobre el uso de plantas como biorreactores y la prohibición a las farmacéuticas de cultivar estos productos en su territorio, si en México no existe regulación, lo que provoca que las empresas consideren al territorio mexicano para la experimentación y cultivo de estos biorreactores. Legalmente las empresas no están cometiendo ilícito alguno, aunque éticamente no actúan de manera adecuada. Se debe recordar que la mayoría de los países en desarrollo son los que cuentan con medios ambientes megadiversos, por lo contrario los países productores de transgénicos son industrializados y tienen territorios con baja biodiversidad, por lo que el problema de conservación es más sencillo de resolver, además los países megadiversos no cuentan con una industria biotecnológica poderosa, mientras que los países desarrollados apoyan totalmente su biotecnología agrícola e impulsan los cultivos transgénicos, considerándolos como una forma más de fitomejoramiento moderno (Mackenzie *et al.*, 2003), además de que la biodiversidad no es considerada como un valor para los países desarrollados.

Una de las principales razones que dan las empresas farmacéuticas para desarrollar productos en biorreactores, es el bajo costo económico que representa su producción y el ahorro del que se beneficiaría el consumidor. Sin embargo, habría que preguntarse si esa razón es suficiente en otro contexto (en un país megadiverso y en desarrollo). En México se requeriría un proceso de adopción de estas nuevas biotecnologías y productos derivados de parte de los consumidores, haciéndose más complejo este proceso debido a que los valores culturales de la mayoría de los mexicanos, impiden que el maíz sea visto simplemente como una fábrica. El maíz es considerado como parte de la historia e identidad del país, su uso y trato en México es diferente al que se le da en naciones desarrolladas, ya que se resiembraba, se selecciona y se almacena cada cosecha, esta es la principal característica de que México sea considerado como COD. Además es poco probable que las condiciones de vida de la nación permitan que cambie la situación económica y que el número de personas en pobreza y pobreza extrema puedan adquirir alguno de estos productos farmacéuticos. En el caso de que se trate de una vacuna es posible que ellos no tengan que comprarla, el gobierno la daría si es que hay algún convenio con alguna farmacéutica. El problema sería mayor si se tratara de una vacuna experimental expresada en maíz siendo de polinización abierta. Existe pues un

enfrentamiento entre dos sistemas de valores; el económico y el cultural, en dos contextos diferentes; el desarrollo y el subdesarrollo.

Si bien, la biotecnología es una disciplina de gran fiabilidad y capacidad para resolver muchos problemas, se debe aceptar que es necesario y pertinente que comunidades de expertos y ciudadanos sean capaces de reconocer que en virtud de los riesgos que generan los sistemas biotecnológicos, deban existir propuestas para la solución de problemas específicos y mecanismos de vigilancia que surjan de la pluralidad de opiniones.

Gracias a los aportes de la ciencia es posible estimar la probabilidad de algún daño humano causado por un compuesto tóxico al que la gente sea expuesta. También pueden estimarse los beneficios de un nuevo medicamento que hubiera sido imposible crear en el pasado. Sin embargo, la ciencia no necesariamente estima los costos sociales y económicos asociados a la presencia de un compuesto no deseado en la comida de las personas. Tampoco estima las ganancias económicas y sociales de la nueva industria de los biorreactores que crea un nuevo medicamento o compuesto.

A pesar de lo anterior, ahora muchos científicos han empezado a reconocer que las tecnologías que surgen de sus investigaciones tienen impactos más allá de su laboratorio. Los expertos deben de ser transparentes en cuanto a lo que saben e ignoran (y reconocer que sus conocimientos tienen un límite) e informar de manera accesible dando razones respaldadas a todo el público. Deben considerar que la gente puede decidir lo que quiere y le favorece si cuenta con la información adecuada para decidir, además la sociedad tiene derecho a exigir que el dinero público se asigne con su aprobación a los sistemas de ciencia y tecnología para que respondan a las genuinas demandas y necesidades sociales de los ciudadanos que los mantienen (Villoro, 1997).

Actualmente se están investigando varios métodos para contener a los transgenes, incluyendo apomixis, genomas incompatibles, control de la latencia del germen, genes suicidas, barreras de infertilidad, esterilidad masculina y herencia materna. En el caso de México, al trabajar en plátano se reducen los posibles riesgos dado que el plátano es una especie estéril que no produce polen; además, como el plátano es originario de Asia y no tiene parientes cercanos en México, el riesgo de escape de transgenes se reduce. Sin embargo, estos métodos de contención no son suficientes en un país megadiverso. En México se debe prohibir el uso de maíz transgénico para cultivo, siembra, y consumo humano. Sencillamente la cultura mesoamericana no se explica sin el maíz, y el maíz no

puede explicarse sin la cultura (Arellano, 1999). Ambos han necesitado interactuar para poder existir, culturalmente existe una relación estrecha del ser humano y el maíz.

El uso de los biorreactores como cualquier otra tecnología, no está libre de riesgos y las plantas utilizadas como biorreactores son un sistema biotecnológico que produce social y ambientalmente efectos a corto, mediano y largo plazo, generando situaciones de riesgo, de incertidumbre y/o de ignorancia. Algunos fármacos derivados de plantas y algunos compuestos industriales tienen impacto en la salud humana y animal si llegan a estar presentes, de manera no intencional o intencional, en el alimento. Por otro lado, las plantas cultivadas son patrimonio de toda la humanidad y de las próximas generaciones, por lo que el patentarlas no da el derecho de hacer uso inadecuado de ellas y arriesgar a las personas y al patrimonio mismo. Además, el uso de plantas de polinización abierta como el maíz acarrea problemas ambientales y situaciones de riesgo para los seres humanos.

Los seres humanos son capaces de asignar valores y considerar como buenos o malos ciertos estados de las cosas o considerarlos deseables o indeseables, son de igual forma capaces de tomar decisiones en función de sus intereses, deseos y preferencias, realizando un seguimiento de sus acciones o corrigiendo sus decisiones y estados de acción. El riesgo coloca en el mismo nivel con respecto a "la verdad, la objetividad y la certeza del conocimiento" a científicos naturales, sociales, comunicadores, empresas, políticos y legos (Adam *et al.*, 2000) por lo que es necesario que se complementen los análisis y evaluaciones de los expertos con los puntos de vista de las personas que resulten afectadas o de aquéllas que estén interesadas en colaborar. Para esto se debe de considerar que las personas son agentes racionales y autónomos capaces de elegir con base en razones y decidir por sí mismas el plan de vida que consideren más adecuado para ellas.

A pesar del enorme potencial que tiene el uso del maíz como biorreactor para producir compuestos de interés farmacéutico y vacunas, se debe ser muy cauteloso al seleccionar el cultivo adecuado para su producción y es necesario considerar diversos factores como son los niveles de producción, condiciones de almacenamiento, costos de establecimiento y operación, estrategias de purificación, tamaño del mercado, preocupaciones ambientales, opinión pública y tecnologías alternativas. Pero sobre todo estar informados de las implicaciones económicas, políticas y sociales, además de los riesgos de utilizar al maíz como biorreactor en México.

Bibliografía

- Adam, B., Beck, U. y Van Loo, J. 2000. *The risk society and beyond, critical issues for social theory*. Sage Publications Ltd., Londres.
- Acevedo, F. 2004. "Drugs in Mexican crops?" Correspondence to the editor, *Nature Biotechnology*, Vol. 22, No.7: 803.
- Acuña, C. H. A. 2005. *Las vicisitudes de la desigualdad, una aproximación a la competitividad de la agricultura del maíz entre México y Estados Unidos, 1990-2002*. Tesis de licenciatura. Facultad de Economía, UNAM.
- Adam, D. y Knight, J. 2002. "Publish, and be damned...", *Nature*, Vol. 419: 772-776.
- Agenda XXI. 1994. Organización de las Naciones Unidas/ Secretaría de Desarrollo Social. México.
- Alarcón-Chaires, P. 1998. *Diagnóstico de la producción rural en Nahuatzen, Michoacán*. Tesis de Maestría, Facultad de Biología, UMSNH, México.
- Alarcón-Chaires, P. 2005. "La Agrodiversidad: la diversificación del maíz" en: Toledo, V. (coord.). *Biodiversidad en México*. CONACULTA/Fondo de Cultura Económica, México.
- Altieri, M. 1997. *The myths of agricultural biotechnology: some ethical questions*, <www.cnr.berkeley.edu/agroeco3/the_myths.html>
- Álvarez del Castillo, C. 1991. "El maíz, su origen, domesticación y diversificación racial en México" en: *La agricultura y la agronomía en México*, UACH, Chapingo, México.
- Álvarez, A., Bohorova, N., Castillo-González, F., Dirzo, R., Equihua, M., Gálvez, A., Garzón, J. A., González, R. L., Larqué, A., Larson, J., López-Herrera, A., Loyola, V., Martínez, G., Nieto, J., Vázquez, L., Paredes, O., Piñero, D., Sarukhán, J., von Scheven, E., Solleiro, J. L. y Serratos, J. A. 1999. "Organismos vivos modificados en la agricultura mexicana: desarrollo biotecnológico y conservación de la diversidad biológica", *Biotechnología*. Vol.4, No.2: 47-60.
- Alvarez-Morales, A. 2002. "Transgenes in maize landraces in Oaxaca: Official report on the extent and implications", *Proceedings of 7th International Symposium on the Biosafety of GMO*. Beijing, China, 10-16 October 2002.
- Anderson, L. 2001. *Transgénicos: ingeniería genética, alimentos y medioambiente*. Madrid. España, GAIA, Proyecto 2050.
- Antoniou, M. 2004. "Drugs in Mexican crops?" Correspondence to the editor, *Nature Biotechnology*, Vol. 22, No.5: 508.
- Appendini, K. 1992. *De la milpa a los tortibonos. La reestructuración de la política alimentaria en México*. El Colegio de México y el Instituto de Investigaciones de las Naciones Unidas para el Desarrollo Social (UNRISD), México.
- Arellano, H. A. 1999. *La construcción social de los objetos técnicos agrícolas. Antropología de la hibridación del maíz y de los agricultores de los Valles Altos de México*. UAEM, Toluca, México.
- Barrios, C. y Buenrostro, M. 1997. "El maíz nuestro sustento", *Arqueología Mexicana*. El maíz, Vol. 5 No. 25: 6-15.
- Bartra, A., Cabrera, P. J. L., Calderón de la Barca, A. M., Chaplea, I., Colín, M., Herrera, A. M., Márquez, S. F., Mascorro, G. J. O., Masssieu, T. Y. C., San Vicente, T. A., Schmeiser, P., Turrent, F. A. y Uribe M. P. 2005. *Transgénicos, ¿quién los necesita?* Grupo Parlamentario del PRD, Cámara de Diputados, Congreso de la Unión, LIX Legislatura.
- Benz, B. F. 1997. "Diversidad y distribución prehispánica del maíz mexicano", *Arqueología Mexicana*. El maíz, Vol. 5 No. 25: 16-23.
- Bourges, H. y Lehrer, R. 2000. "Maize and Biodiversity: The Effects of Transgenic Maize in Mexico", Chapter 7 Assessment of Human Health Effects for the Article 13, *Initiative on Maize and Biodiversity*, CCA.
- Bruneton, J. 1991. *Elementos de Fitoquímica y Farmacognosia*. Zaragoza: Acribia. p.39.

- Calva, J. L. 1991. *Probables efectos de un Tratado de Libre Comercio en el campo mexicano*. Fontamara, México.
- Casas, R. y Chauvet, M. 1996. "Biotecnología, agricultura y ambiente: una recapitulación", *Comercio Exterior*, Vol. 46, No. 10: 834-845.
- Challenger, A. 1998. *Utilización y conservación de los ecosistemas terrestres de México*. CONABIO, UNAM; Agrupación Sierra Madre, S. C., México.
- Chapela, I. 2005. "¿Quién necesita transgénicos?" en: Bartra, A., Cabrera, P. J. L., Calderón de la Barca, A. M., Chapela, I., Colín, M., Herrera, A. M., Márquez, S. F., Mascorro, G. J. O., Massieu, T. Y. C., San Vicente, T. A., Schmeiser, P., Turrent, F. A. y Uribe M. P. *Transgénicos, ¿quién los necesita?* Grupo Parlamentario del PRD, Cámara de Diputados, Congreso de la Unión, LIX Legislatura.
- Chauvet, M. y Gálvez, M. A. 2005. "Learning about biosafety in Mexico: between competitiveness and conservation", *Int. Journal of Biotechnology*, Vol. X, No. X.
- Chauvet, M., González, A. R. L., Barajas, O. R. E., Castañeda, Z. Y. y Massieu, T. Y. C. 2004. *Impactos sociales de la biotecnología: el cultivo de la papa*. UAM-A, CambioTec, CONACYT, Editorial Praxis. México.
- Consejo Consultivo de Bioseguridad (CIBIOGEM). 2003. *Resumen Ejecutivo del Reporte Técnico acerca de la presencia del maíz transgénico en México*. Documento interno del Gobierno de México.
- Daniell, H., Streatfield, S. J. y Wycoff, K. 2001. "Medical molecular farming: production of antibodies, biopharmaceuticals and edible vaccines in plants", *Trends Plant Sci*, Vol. 6:219–226.
- Declaración de Río. 1992. Principio 15 de la "Declaración de Río", Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo.
- Diario Oficial de la Federación. 18 de marzo de 2005. *Ley de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados*. Secretaría de Salud.
- Echeverría, J. 2002. *Ciencia y valores*. Destino, Barcelona.
- Ellstrand, N. C. 2001. "When transgenes wander, should we worry?" *Plant Physiology*, Vol. 125: 1543–1545.
- Ellstrand, N. C. 2003. *Dangerous Liaisons: When Crops Mate with their Wild Relatives*. Johns Hopkins University Press, Baltimore.
- Federal Register. 2003. "Field testing of plants engineered to produce pharmaceutical and industrial compounds", *Federal Register*, Vol. 68: 11337–11340.
- Fischer, R., Stoger, E., Schillberg, S., Christou, P. y Twyman M. R. 2004. "Plant-based production of biopharmaceuticals", *Current Opinion in Plant Biology*, Vol. 7:152–158.
- Fox, J. L. 2003. "Puzzling industry response to ProdiGene fiasco", *Nature Biotechnology*, Vol. 21: 3–4.
- Fulponi, L. 2000. "Modern biotechnology and agricultural markets: A discussion of selected issues". Directorate for food, agriculture, and fisheries, Committee for agriculture. Working Party on agricultural policies and markets.
- Galán, J. 2001. "La contaminación de maíz transgénico podría expandirse a todo el país: grupos ambientalistas", *La jornada*: 29.
- Gálvez, A., Solleiro, J. L. y González, R. L. 1999. "Biosafety Regulations in Mexico within NAFTA. Facing the Dilemma of Biodiversity and Business Development", *Journal of Biolaw & Bus.*, Vol. 2, No. 3:65-74.
- Gálvez, A. 2000. "Se adopta el Protocolo Internacional de Bioseguridad", *BioTecnología*, Vol. 5, No. 1: 19 –21.
- Gálvez, A. 2004. "Consecuencias para la industria alimentaria de la utilización de organismos genéticamente modificados" en: Muñoz, R. J. *Alimentos transgénicos Ciencia, Ambiente y Mercado: un debate abierto*. Siglo XXI, UNAM, México.
- García, F. H. 2004. "Los pasos previos a la moderna biotecnología". *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XXX, No. 175: 27-30.

- Gleba, D., Borisjuk, N. V., Borisjuk, L. G., Kneer, R., Poulev, A., Skarzhinskaya, M., Dushenkov, S., Logendra, S., Gleba, Y. Y. y Raskin, I. 1999. "Use of plant roots for phytoremediation and molecular farming". *Proc. Natl. Academy of Science USA*, Vol. 96: 5973-5977.
- Goddijn, O. J. M. y Pen, J. 1995. "Plants as biorreactors", *Manipulating metabolism*, Vol. 13: 379-387.
- Gómez, L. M. 2001. "Producción de vacunas y compuestos farmacéuticos en plantas transgénicas", *Avance y perspectiva*, No. 20: 365-377.
- González, R. L. 2004. *Los efectos de la propiedad intelectual y la bioseguridad en el acceso a la biotecnología agrícola en México*. Tesis de doctorado en Ciencias Sociales. UAM-Xochimilco.
- Hernández, C. A. 2004. "El Consejo Regulador de la cadena maiz-tortilla (Minsa, S. A. de C. V.)". *1er Congreso de Nixtamalización: del maiz a la tortilla*, Querétaro, octubre 2004.
- Hernández-Xolocotzi, E. y Flores, G. A. 1971. "Estudio morfológico de cinco nuevas razas de maiz de la Sierra Madre Occidental de México: Implicaciones filogenéticas y fitogeográficas", *Agrociencia*, Vol. 5: 3-30.
- Herrera, E. L. 2004. "Plantas transgénicas: aplicaciones y controversias", *Ciencia y Desarrollo*, Vol. XXX, No. 175: 42-49.
- Herrera, E. L. y Martínez, T. L. 2004. "Plantas transgénicas: Potencial, uso actual y controversias" en: Muñoz, R. J. *Alimentos transgénicos Ciencia, Ambiente y Mercado: un debate abierto*. Siglo XXI, UNAM, México.
- Herrera-Estrella, L., Depicker, A., Van Montagu, M. y Schell, J. 1983. "Expression of Chimaeric genes transferred into plant cells using a Ti plasmid-derived vector", *Nature*. Vol. 303: 209-213.
- Hood, E. E. y Howard, J. A. 2002. *Plants as factories for protein production*. Kluwer, Dordrecht.
- Hood, E. E. y Jilka J. M. 1999. "Plant-based production of xenogenic proteins", *Current Opinon on Biotechnology*, Vol. 10:382-386.
- Horn, M. E., Woodard, S. L. y Howard, J. A. 2003. "Plant molecular farming: systems and products", *Plant cell Reproduction*, Vol. 22:711-720.
- Jaeger, C. C., Renn, Ortwin, Rosa, Eugene, A. y Webler, T. 2001. *Risk, Uncertainty and Rational Action*. Earthscan Publications Ltd. London and Sterling.
- James, C. 2000. "Global status of commercialized transgenic crops: 1999", *ISAAA Briefs*, No. 17.
- James, C. 2004. "Global status of commercialized biotech/GM crops: 2004", *ISAAA Briefs*, No. 32.
- Jugenheimer, R. 1981. *Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. Editorial LIMUSA, México.
- Keeler, R. K. 2002. "Plant-Made Pharmaceuticals", *Nature Genetics*, Vol. 32.
- Kleter, G. A., van der Krieken M. W., Kok, E. J. y Gilissen L. J. W. J. 2001. "Exploitation and regulation of plants genetically modified to express nutraceuticals and pharmaceuticals". Disponible en: <http://www.rikilt.wageningen-ur.nl/nutraceuticals>.
- Krimsky, S. y Wrubel, R. 1996. *Agricultural biotechnology and the environment*. Urbana & Chicago. University of Illinois Press.
- Kristinsson, J. B. 2004. "Molecular farming in plants" Correspondence to the editor. *Nature Biotechnology*, Vol. 22, No.5: 508.
- Leff, E. 2000. *La complejidad ambiental*. Siglo XXI editores, México.
- León-Bañares, R., González-Ballester, D., Galván, A. y Fernández, E. 2004. "Transgenic microalgae as green cell-factories", *Trends in Biotechnology* Vol.22, No.1.
- López Cerezo, J. A. y Luján, J. L. 2000. *Ciencia y Política del Riesgo*. Alianza Editorial, Madrid.

- López-Munguía, A. 2004. "Aspectos polémicos de la introducción de las plantas transgénicas en la alimentación" en: Muñoz, R. J. *Alimentos transgénicos Ciencia, Ambiente y Mercado: un debate abierto*. Siglo XXI, UNAM, México.
- Ma, J. K., Drake, M. W. P. y Christou, P. 2003. "The production of recombinant pharmaceutical proteins in plants". *Nature Reviews Genetic*. Vol.4: 794-805.
- Mackenzie, R., Burhenne-Guilmin, F., La Viña, A. G. M., Werksman, J., Ascecio, A., Kummer, K. y Tapper, R. 2003. *An Explanatory Guide to the Cartagena Protocol on Biosafety*. Island Press.
- Mangelsdorf, P. C. y Reeves, R. G. 1959. The origin of corn. III. Modern races, the product of teocinte introgression. *Bot. Mus. Leaf. Harv. Univ.*, 18: 389-411.
- Mangelsdorf, P.C. 1986. "The origin of corn". *Sci. Am.*, 255(2): 72-78.
- McClung, de T. E. 1997. "La domesticación del maíz" en: *Arqueología Mexicana*. El maíz, Vol. 5 No. 25: 34-39.
- Miele, L. 1997. "Plants as bioreactors for biopharmaceuticals: regulatory considerations". *Trends Biotechnol*, 15:45-50.
- Miranda, C. S. 1966. "Discusión sobre el origen y la evolución del maíz" en: *Memorias del Segundo Congreso Nacional de Fitogenética*: 233-251. Sociedad Mexicana de Fitogenética, Monterrey, México, February 7-8. Escuela Nacional de Agricultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Montgomery, E. G. 1906. What is an ear of corn? *Popular Science Monthly*, 68: 55-62.
- Muñoz, S. S. P. 2002. "Los organismos modificados genéticamente en la relación México-Estados Unidos: El caso del maíz transgénico". Tesis de Maestría en estudios en relaciones internacionales, Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, UNAM.
- Nabhan, G. P. 1985. *Gathering the desert*. The University of Arizona Press, Tucson.
- Nabhan, G.P. 1989. *Enduring seeds*. North Point Press, San Francisco.
- National Academy of Sciences. 2000. *Genetically Modified Pest-Protected Plants: Science and Regulation*. National Academy Press, Washington, D. C.
- Olea, F. A. 1997 "La introducción del maíz híbrido en la agricultura mexicana: Una historia de equívocos científicos, intereses comerciales y conflictos sociales" en: Rutsch, M. y Serrano, S. C. (eds.). *Ciencia en los márgenes, ensayos de historia de las ciencias en México*. UNAM, Instituto de Investigaciones Antropológicas, México.
- Olea, F. A. 2002. *One century of higher agricultural education and research in México (1850s-1960s), with a preliminary survey on the same subjects in the United States*. Tesis de Doctorado, Harvard University.
- Olivé, L. 1999. *Multiculturalismo y Pluralismo*, Paidós, México.
- Olive, L. 2004. "Riesgo, ética y participación pública" en: Luján, J. L. y Echeverría, J. (eds.). *EL riesgo en las sociedades contemporáneas*. Biblioteca Nueva, Madrid.
- Olivo, M. Alarcón-Chaires, P. y Solís, L. 2001. "Los pueblos del maíz. Nomenclatura Indígena de una planta sagrada". *Etnoecológica* Vol. 6, No. 8: 103-106.
- Ortega, P. R., Sánchez, G. J. J., Castillo, G. F. y Hernández, C. J. M. 1991. "Estado actual de los estudios sobre maíces nativos en México" en Ortega, P. R., Palomillo, G. H., Castillo, F. G., González V. A. H. y Livera, M. M. (eds.), *Avances en el estudio de los recursos filogenéticos de México*, Sociedad Mexicana de Fitogenética, A. C., México.
- Pengue, W. 2000. *Cultivos transgénicos: ¿Hacia dónde vamos?* Buenos Aires, UNESCO.
- Pessel, F. D., Lecomte, J., Emeriau, V., Krouti, M., Messean, A. y Gouyon, P. H. 2001. "Persistence of oilseed rape (*Brassica napus* L.) outside of cultivated fields". *Theor Appl Genet*. No. 102: 841-846.
- Peterson, K. D. R. y Arntzen, J. C. 2004. "On risk and plant-based biopharmaceuticals". *Trends in Biotechnology*, Vol.22 No.2.
- Pew Initiative on Food & Biotechnology. 2003. "Pharming the field: a look at the benefits and risks of bioengineering plants to produce pharmaceuticals".
- Quist, D. y Chapela, I. H. 2001. "Transgenic DNA introgressed into traditional maize landraces in Oaxaca, Mexico". *Nature*, Vol. 414:541-543.

- ♣ Quist, D. y Chapela, I. H. 2002. "Reply". *Nature*, Vol. 416:601.
- ♣ Reyes, C. P. 1990. *El maíz y su cultivo*. Ed. AGT. México.
- ♣ Reyna, T. 1970. *Relaciones entre la sequía intraestival y algunos cultivos de México*. Instituto de Geografía, UNAM, México.
- ♣ Riechmann, J. y Tickner, J. (eds.). 2002. *El principio precautorio*. Icaria, Barcelona
- ♣ Shrader-Frechette, K. 1991. *Risk and rationality, philosophical foundations for populist reforms*. University of California Press.
- ♣ Simpson, B. B. y Ogorzaly, M. C. 2001. *Economic Botany: Plants in our World*. Ed 3. McGraw-Hill, New York.
- ♣ Solleiro, R. J. L. 2004. "Biotecnología para un desarrollo agrícola sustentable" en: Muñoz, R. J. *Alimentos transgénicos Ciencia, Ambiente y Mercado: un debate abierto*. Siglo XXI, UNAM, México.
- ♣ Stein, K. E. y Webber, K. O. 2001. "The regulation of biologic products derived from bioengineered plants". *Curr Opin Biotechnol*, 12:308-311.
- ♣ Stern, P. C. y Fineburg, H. V. 1996. *Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society*, National Academy Press.
- ♣ Stirling, A. 1999. *On science and precaution in the management of the technological risk. a synthesis report*, SPRU: University of Sussex. 56 pp.
- ♣ Toledo, V. (coord.) 2005. *Biodiversidad en México*, CONACULTA/Fondo de Cultura Económica, México.
- ♣ Toledo, V. 1989. *La producción rural en México: alternativas ecológicas*, Fundación Universo Veintiuno, México.
- ♣ Toledo, V. 2004. "Ciencia, sustentabilidad y sociedad del riesgo, el caso de la biotecnología agrícola (Transgénicos)" en: Muñoz, R. J. *Alimentos transgénicos Ciencia, Ambiente y Mercado: un debate abierto*. Siglo XXI, UNAM, México.
- ♣ Toledo, V. M. 2002. *Ecología, Espiritualidad y Conocimiento*. Universidad Iberoamericana y Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
- ♣ Torres, T. F. (coord). 2003. *Seguridad Alimentaria: Seguridad Nacional*. Instituto de Investigaciones Económicas, Escuela Nacional de Trabajo Social. UNAM- Edit Plaza y Valdés. México.
- ♣ Torres, T. F. y Trápaga, Y. 2000. *La alimentación de los mexicanos en la alborada del tercer milenio*. Colección Jesús Silva Herzog. Instituto de Investigaciones Económica, UNAM, México.
- ♣ Villoro, L. 1997. *El poder y el valor*, Fondo de Cultura Económica. México.
- ♣ Walsh, V. 2000. Creating markets for biotechnology. *X Congreso Mundial de Sociología*, Rio de Janeiro, Brasil.
- ♣ Warman, A. 1988. *La historia de un bastardo: maíz y capitalismo*, Instituto de Investigación Sociales, UNAM/Fondo de Cultura Económica, México.
- ♣ Weatherwax, P. 1935. The phylogeny of *Zea mays*. *American maize and Euchlaena mexicana* *Revista Argentina de Agronomía*, 5: 113-115.
- ♣ Wendt, J. e Izquierdo, J. 2001. "Biotechnology and Development: A balance between IPR protection and benefit-sharing". *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN:07173458.
- ♣ Wynne, B. 1992. "Uncertainty and environmental learning". *Global environmental change*, junio: 111-127.